



ESTUDO E AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE CONFORTO NO TRANSPORTE POR ELEVADOR

Guilherme Berra Bortolini, guilherme.bortolini@edu.pucrs.br

Orientador: Sérgio Boscato Garcia, sergio.garcia@pucrs.br

Resumo: *Com o passar do tempo, o transporte vertical tem se tornado cada vez mais necessário no cotidiano, sendo essencial assegurar condições que proporcionem viagens confortáveis para o usuário. Isso destaca a importância do bem-estar e da qualidade do deslocamento, aspectos diretamente relacionados à necessidade de modernização contínua desses sistemas. Elevadores de passageiros precisam ser modernizados para garantir funcionalidade, segurança, extensão da vida útil e conforto. Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da modernização parcial nos parâmetros de conforto, com foco em vibração durante o deslocamento. A metodologia adotada consiste na realização de medições em elevadores de um mesmo edifício, com características de projeto semelhantes, sendo um modernizado e o outro não. Utilizou-se o dispositivo EVA-625, que possui um acelerômetro acoplado, seguindo as normas ISO 18738:2003 e ISO 2631-1:1997 de medição. Os dados coletados foram processados no software Henning para análise comparativa, conforme a norma ISO 8100-34. Observou-se que, apesar das diferenças, ambos os elevadores atendem à escala de conforto humano, assegurando padrões aceitáveis de segurança e bem-estar. Contudo, no que diz respeito à qualidade do trajeto, avaliada pelo parâmetro A95, foi constatado que um dos equipamentos opera inadequadamente, evidenciando os impactos das tecnologias de tração e controle no conforto dos passageiros.*

Palavras-chave: *Conforto em edificações, Transporte vertical, Modernização de elevadores, ISO 2631-1, Elevadores de passageiros.*

STUDY AND EVALUATION OF COMFORT PARAMETERS IN ELEVATOR TRANSPORTATION

Abstract: *Over time, vertical transportation has become increasingly necessary in daily life, making it essential to ensure conditions that provide comfortable rides for users. This highlights the importance of well-being and the quality of travel, aspects directly related to the continuous modernization of these systems. Passenger elevators must be upgraded to ensure functionality, safety, extended service life, and comfort. This study aims to evaluate the impact of partial modernization on comfort parameters, focusing on vibration during travel. The methodology involves measurements in elevators within the same building, with similar design characteristics, where one has been modernized, and the other has not. The EVA-625 device, equipped with an accelerometer, was used following ISO 18738:2003 and ISO 2631-1:1997 measurement standards. The collected data were processed using Henning software for comparative analysis based on the ISO 8100-34 standard. It was observed that, despite the differences, both elevators meet the human comfort scale, ensuring acceptable safety and well-being standards. However, regarding travel quality, evaluated by the A95 parameter, it was found that one of the systems operates inadequately, highlighting the impacts of traction and control technologies on passenger comfort.*

Keywords: *Comfort in buildings, Vertical transportation, Elevator modernization, ISO 2631-1, Passenger elevators.*



1. INTRODUÇÃO

Com o contínuo aumento da população mundial, a melhoria dos sistemas de transporte vertical e horizontal se tornam cada vez mais cruciais no dia a dia, demandando equipamentos mais eficientes, seguros e rápidos. A locomoção por elevador é um componente de grande importância da infraestrutura em edificações urbanas, possibilitando a facilidade no deslocamento em prédios residências e comerciais. Por se tratar do transporte de seres-humanos, além da eficiência operacional, o conforto dos usuários durante o uso desses equipamentos é uma preocupação crescente, sendo que o conforto é influenciado por diversos fatores, tais como: vibrações, ruído e suavidade no deslocamento vertical.

As tecnologias dos elevadores acabam se tornando desatualizadas com o passar do tempo, impactando diretamente na qualidade do serviço prestado, especialmente em termos de conforto. Um dos principais problemas decorrentes do envelhecimento dos sistemas de elevação é o aumento dos níveis de vibração e ruído. Embora a amplitude da vibração de um elevador em funcionamento não ameace a saúde e a segurança dos passageiros, pode-se atingir valores que causam desconforto ao usuário, esse elemento pode representar a variável decisiva nas tratativas para a comercialização de instalações ou na formalização de contratos de prestação de serviços de manutenção. Após muitos ciclos de uso, mesmo com um plano de manutenção bem executado, a vida útil dos componentes chega ao fim, e a tecnologia do equipamento fica defasada, necessitando de atualizações. Com a evolução que também afeta esta indústria, as empresas buscam inovações que proporcionem uma experiência de mais segurança e conforto para os passageiros durante as viagens.

A sensação de conforto na viagem de elevador é algo que pode ser tratada como subjetiva de acordo com Howkins (2006), visto que haverá influência na percepção e experiência da pessoa que estiver utilizando o equipamento, contudo, é possível avaliar essa experiência ao analisar o impacto da gravidade em função da variação da aceleração, resultando em vibrações e ruídos.

A vibração no transporte vertical é causada em grande parte das vezes por danificações em componentes mecânicos, como cabos de aço e rolamentos, ou até mesmo no deslocamento da estrutura da cabina nas guias em altas velocidades. Elevadores que apresentam vibrações elevadas tendem a provocar um desconforto imediato aos passageiros, sendo identificados como instáveis e pouco seguros. Segundo Guo (2019), embora vibrações em amplitudes baixas não comprometam a saúde ou a segurança dos passageiros na maioria das vezes, elas podem alcançar níveis que causam desconforto, reafirmando a importância da manutenção e controle para qualificação da viagem.

Neste contexto, a modernização de elevadores apresenta-se como uma solução não apenas para aumentar a eficiência energética e a segurança, mas também para melhorar os parâmetros de conforto, como vibração. Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo dos parâmetros de conforto antes e após a modernização de elevadores, com foco particular na redução das vibrações e dos níveis de ruído percebidos pelos usuários. A análise também considerará a percepção subjetiva dos passageiros em relação à suavidade do deslocamento, contribuindo para uma visão mais abrangente do impacto das atualizações tecnológicas na experiência de uso.

Este estudo tem por objetivo avaliar de forma quantitativa o conforto dos usuários em viagens de elevadores após a implementação de projetos de modernização parcial. Para execução desta análise foi realizada a comparação de dados de medição de vibração, entre um equipamento original e um que já foi modernizado, localizados no mesmo edifício. Para realização das medições foi utilizado a norma ISO 18738:2003, seguindo os padrões estabelecidos de avaliação segundo a norma internacional ISO 2631-1:1997. A presente avaliação é de suma importância para destacar os benefícios que são agregados aos equipamentos após projetos ou atualizações tecnológicas em componentes mecânicos e elétricos.

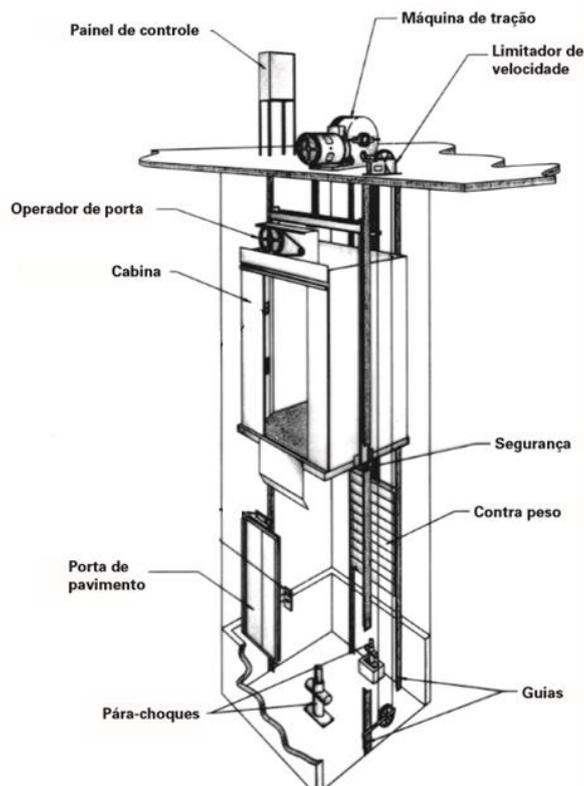
2. TRANSPORTE VERTICAL: ELEVADORES

A história dos elevadores remonta a tempos antigos no século I A.C, com registros de dispositivos primitivos usados para transporte vertical já na Grécia Antiga, como as plataformas elevadas movidas por força humana ou animal com o intuito principal da movimentação de animais e artigos de batalha, nesta fase histórica fatores como segurança e conforto não eram parâmetros consideráveis. No ano de 1743 o primeiro elevador projetado para o transporte de seres humanos foi inaugurado no Palácio de Versalhes para o Rei Luís XV da França. No entanto, a evolução dos elevadores modernos começou no século XIX, impulsionada pela Revolução Industrial e o desenvolvimento de novas tecnologias. Em 1852, a inventora Elisha Otis apresentou o primeiro sistema de segurança para elevadores, que impedia a queda da cabina em caso de falha dos cabos, um marco que tornou os elevadores mais seguros e viáveis para o transporte de pessoas. Esse avanço abriu caminho para a construção de edifícios mais altos, mudando a paisagem urbana e permitindo o surgimento dos arranha-céus. Verma (2013), afirma que ao longo do século XX, inovações, como motores elétricos e sistemas de controle automático, tornaram os elevadores mais eficientes, rápidos e confortáveis, consolidando seu papel essencial nas grandes cidades modernas.

2.1 Principais componentes de um elevador

Os sistemas de elevadores são constituídos de quatro principais setores, sendo eles a casa de máquinas, caixa de corrida, pavimento e fundo do poço, dispondo de diversos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos que, integrados, garantem o funcionamento seguro e eficiente do equipamento. Segundo o CREA-MG (2013), os principais componentes que constituem um elevador são: máquina de tração, quadro de comando ou painel de controle, guias de cabina e contrapeso, cabina, contrapeso, regulador de velocidade, aparelho de segurança, fechamento de pavimento e cabina, para-choques e cabos de tração para movimentação, conforme é ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Componentes principais de um elevador (Manual de transporte vertical em edifícios, 2016).



A máquina de tração e o motor de tração são responsáveis pelo movimento vertical da cabina. O motor de tração, geralmente do tipo síncrono ou assíncrono, é acoplado à máquina de tração e fornece a potência necessária para movimentar os cabos de aço ou cintas que elevam ou abaixam a cabina. A máquina de tração, por sua vez, inclui uma polia motriz que transforma o torque gerado pelo motor em movimento linear, permitindo o deslocamento suave e controlado da cabina. As máquinas de tração que utilizam cabos de aço se diferenciam em denominação pelo uso dos termos *gearless* ou *geared*, relacionadas à presença ou ausência de engrenagens no sistema de transmissão de movimento.

A máquina *gearless* ilustrada na Figura 2 (a), é composta diretamente por um motor acoplado à polia de tração, eliminando a necessidade de uma caixa de engrenagens intermediária para a transmissão de movimento. O motor utilizado é geralmente do tipo síncrono de ímãs permanentes, que opera em alta eficiência e permite um controle preciso da velocidade e torque. Já a máquina *geared* utiliza um motor elétrico acoplado a uma caixa de engrenagens ilustrada na Figura 2 (b), que reduz a velocidade de rotação do motor, transmitindo o torque à polia de tração. O motor é normalmente de indução, e a caixa de engrenagens permite que o motor opere em rotações mais altas, enquanto o elevador mantém velocidades adequadas para o transporte de passageiros.

Figura 2: Modelos de máquinas de tração presentes na obra de modernização parcial (Catedral de Porto Alegre, 2024). (a) Máquina de tração *gearless*, modelo GTW10 e (b) Máquina de tração *geared*, modelo EM-62.



(a)



(b)

A cabina do elevador é o compartimento onde os passageiros ou cargas são transportados verticalmente entre os diferentes andares de um empreendimento. Sua principal funcionalidade é garantir a segurança e conforto no transporte, porém ao longo do tempo, a cabina do elevador passou por várias evoluções tecnológicas e de *design* para melhorar seu desempenho e atender às necessidades do mercado moderno. Inicialmente, as cabinas eram feitas de madeira, formica e materiais básicos, com pouca percepção ao conforto ou à segurança. Com o avanço tecnológico, surgiram cabinas feitas de aço inoxidável, alumínio e outros materiais resistentes, proporcionando diferentes aplicações devido à maior durabilidade, resistência ao desgaste e segurança. Juntamente com as modernizações de matérias houve a implementação da automação, eliminando a necessidade de ascensoristas, permitindo uma operação mais precisa e segura, incluindo sistemas de freios de emergência e sensores nas portas. Recentemente, a acessibilidade foi aprimorada, garantindo que as cabinas sejam adequadas para pessoas com mobilidade reduzida, enquanto a sustentabilidade ganhou espaço com o uso de materiais recicláveis e tecnologias de baixo consumo energético. Com o tempo,

a concepção das cabinas evoluiu para incluir elementos mais modernos e esteticamente agradáveis, conseqüentemente a experiência do usuário e sua percepção de conforto se tornou mais aguçada.

O quadro de comando também conhecido como painel de controle, é o componente central responsável por gerenciar todas as operações de funcionalidade do equipamento, localizando-se na casa de máquinas ou no último pavimento. Tem por função coordenar o movimento da cabina, processando comandos de usuários garantindo a segurança e eficiência na operação. Ao longo dos anos, o quadro de comando evoluiu significativamente, acompanhando os avanços da eletrônica e da automação. A evolução técnica do quadro de comando do elevador passou de sistemas eletromecânicos, baseados em relés e contatos, para controles eletrônicos sofisticados, acompanhando o avanço da tecnologia ilustrado na Figura 3 (a). A partir das décadas de 1980 e 1990, com o surgimento dos inversores de frequência os comandos ACVVVF (*Alternating Controlled Variable Voltage Frequency*) ilustrado na Figura 3 (b), foi possível controlar a velocidade do motor de forma variável, resultando em uma operação mais suave e eficiente energeticamente. Nos anos 2000, a automação e o uso de microprocessadores revolucionaram o quadro de comando, permitindo processamento em tempo real, gerenciamento otimizado de chamadas e controle preciso da cabina. Atualmente, com a integração digital e a conectividade os quadros de comando são altamente automatizados, suportando monitoramento remoto, manutenção preditiva e integração com sistemas de controle de tráfego, tornando a operação dos elevadores mais eficiente.

Figura 3: Modelos de quadro de comando presentes na obra de modernização parcial (Catedral de Porto Alegre, 2024). (a) Quadro de comando Atlas, modelo a relé e (b) Quadro de comando TKE, modelo FDN VVVF M25.



(a)



(b)

2.2 Modernização

Os elevadores precisam apresentar um projeto esteticamente agradável e boas condições técnicas para proporcionar ao usuário uma experiência eficiente, segura, confortável seguindo as normas vigentes. No entanto, ao longo dos anos os equipamentos enfrentam desgaste devido ao número de operação múltiplas efetuadas, assim a atualização técnica de seus componentes eletromecânicos se torna necessária visando manter as condições de funcionamento de acordo com as normativas de utilização.

Tecnicamente, a modernização envolve a substituição ou atualização de elementos como a máquina de tração, que pode incluir a troca por um modelo *gearless*, mais eficiente e silencioso, o quadro de comando, que recebe um controlador microprocessado, permitindo maior precisão e

integração com sistemas prediais inteligentes, e os inversores de frequência (VFD - *Variable Frequency Drive*), que proporcionam controle dinâmico da velocidade e redução no consumo de energia. Além disso, sistemas de portas automáticas são atualizados com sensores de segurança, e a cabina pode ser equipada com dispositivos de comunicação de emergência, como digitalizadores de voz. A modernização também é essencial para garantir que o elevador atenda a normas como a ABNT NBR 15597, que especifica requisitos de segurança para transporte vertical, bem como a norma ABNT NBR 16858-7 que estabelece diretrizes para a instalação, manutenção e operação de elevadores, focando especialmente nos aspectos de segurança e confiabilidade em projetos de modernização parcial. Essa norma é parte de uma série que busca padronizar práticas e requisitos técnicos relacionados ao transporte vertical. Com a modernização, além de prolongar a vida útil do equipamento, há uma melhora significativa na eficiência energética, redução de falhas e custos de manutenção.

A modernização parcial e integral de elevadores refere-se a duas abordagens distintas no processo de atualização de sistemas de transporte vertical. A modernização parcial envolve a substituição ou atualização de componentes específicos, como o motor de tração, quadro de comando ou sistemas de controle de portas. Essa abordagem é ideal para equipamentos que ainda apresentam uma estrutura física sólida, proporcionando um custo-benefício visualmente otimizado e uma interrupção mínima nas operações. Em contrapartida, a modernização integral abrange a atualização completa do elevador, incluindo todos os seus componentes e a cabina, para atender aos padrões mais recentes de segurança e eficiência. Essa estratégia é recomendada quando o elevador está significativamente desgastado ou quando as novas tecnologias disponíveis podem oferecer melhorias substanciais em desempenho e conforto.

2.3 Conforto em viagens de elevador

Conforme indicado por Hernelind e Roivanien (2017), o conforto e a qualidade nas viagens de elevadores são fundamentais para a satisfação dos usuários e estão diretamente relacionados a diversos fatores técnicos. Os parâmetros de conforto nas viagens de elevadores, especialmente no que diz respeito à vibração e ao ruído, são cruciais para garantir uma experiência satisfatória para os usuários segundo (Monge e Gómez, 2020). A vibração, frequentemente causada por desbalanceamentos nos componentes mecânicos ou pela interação entre a cabina e as guias, pode resultar em desconforto e até preocupações com a segurança. Para suavizar esses efeitos, é essencial implementar sistemas de amortecimento, como suportes de borracha e dispositivos de absorção de vibrações, que ajudam a reduzir a transmissão de oscilações para a cabina. Em paralelo, o controle do ruído é igualmente importante; a utilização de motores de alta eficiência e inversores de frequência contribui para operações mais silenciosas. O isolamento acústico adequado da cabina, combinado com a escolha de materiais e acabamentos que absorvem som, pode diminuir a percepção de ruídos mecânicos, como o funcionamento do motor e o movimento das portas. Assim, o controle efetivo desses parâmetros não apenas eleva o conforto do usuário, mas também melhora a percepção geral da qualidade.

A norma ISO 18738:2003 estabelece diretrizes para a realização de medições e a identificação dos parâmetros essenciais para avaliar a qualidade das viagens em elevadores. De acordo com essa norma, a qualidade do deslocamento é influenciada pelos níveis de ruído dentro da cabina e pela vibração do piso, fatores que afetam a percepção dos passageiros durante o transporte.

A vibração é caracterizada por movimentos que ocorrem em corpos que possuem massa e elasticidade. Consoante à definição de Rao (2011), um movimento é considerado vibratório quando se repete em intervalos regulares de tempo, a ISO 18738:2006 descreve a vibração como a variação da magnitude da aceleração ao longo do tempo.

No que diz respeito ao movimento dos elevadores, Howkins (2006) observa que a vibração principal ocorre na direção vertical, correspondente ao movimento de subida ou descida, enquanto as

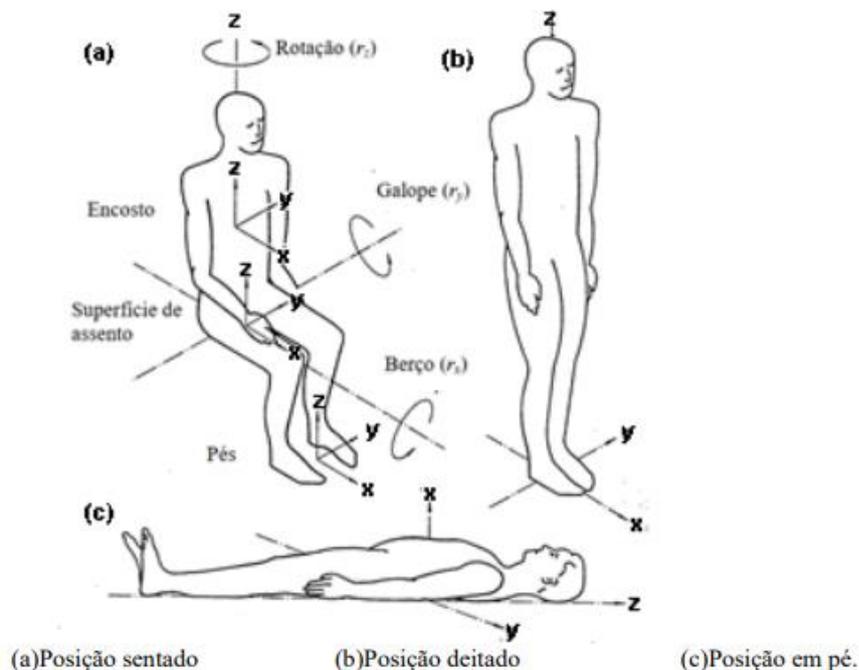
vibrações horizontais, que são de menor intensidade, geralmente resultam de folgas ou movimentações das cargas ou passageiros dentro da cabina. Essas vibrações, tanto verticais quanto horizontais, são ligeiramente amortecidas e, durante as fases de parada e arranque do elevador, elas se comportam de maneira semelhante a vibrações livres, dada a semelhança do sistema formado pela cabina, cabos e contrapeso com um sistema de um grau de liberdade.

2.4 Vibrações: aspectos e parâmetros de avaliação do conforto humano

Quando uma superfície vibratória entra em contato com o corpo, a energia da vibração é absorvida pelos tecidos e órgãos, que causam sua atenuação. O impacto dessa vibração na saúde, no conforto, na percepção e na sensação de náusea relacionada ao movimento está diretamente ligado às suas frequências. A forma como o corpo humano percebe a vibração depende de como ele reage às variações de aceleração, velocidade e deslocamento, tanto de forma individual quanto combinada.

De acordo com a ISO 2631-1:1997, a exposição à vibração de corpo inteiro, em viagens de elevadores, pode causar efeitos adversos e significativos no corpo humano. Vibrações na faixa de frequência entre 0,5 Hz e 80 Hz, são as mais prejudiciais ao corpo, especialmente nas coordenadas vertical (eixo “z”) e horizontais (eixos “x” e “y”), contento a origem a um ponto denominado “entrada de vibração” que pode ser considerado como os pés, nádegas ou costas de uma pessoa. Na Figura 4, há três posições principais para efetuar as medições de vibrações. O indivíduo que estará em contato direto com o transdutor deve posicionar os eixos de forma consistente: o eixo “z” deve estar alinhado com a coluna vertebral, o eixo “x” deve apontar para a frente e para as costas, e o eixo “y” deve se orientar lateralmente.

Figura 4: Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos (ISO 2631-1, 1997).



Para se diferenciar a análise sobre como a vibração influencia o corpo humano entre os diferentes eixos de atuação, são utilizados filtros de ponderação relacionados à direção na qual se deseja avaliar, relacionados a saúde, conforto ou percepção, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Aplicação da frequência ponderada no corpo humano (ISO 2631-1, 1997).

Frequência Ponderada	Saúde	Conforto	Percepção
W_k	eixo "z", em pé	eixo "z", sentado eixo "z", em pé eixos "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 eixos "x", "y", em pé eixos "x", "z", com encosto	eixo "x", sentado eixo "y", sentado eixos "x" e "y", reclinado

2.5 Avaliação dos parâmetros de conforto

A avaliação do conforto no transporte por elevadores possui um caráter inerentemente subjetivo, pois, além das vibrações mecânicas às quais o corpo humano está exposto, há outros fatores que impactam diretamente essa percepção. Entre esses fatores, destacam-se o nível de ruído, a qualidade da iluminação e o *design* do ambiente interno. Esses elementos podem influenciar significativamente a sensação de conforto, sendo que sua relevância varia conforme as características individuais e a sensibilidade de cada usuário.

2.5.1 Vibração

Segundo norma ISO 2631-1 (1997), são estabelecidos métodos para quantificar a vibração de corpo inteiro, abordando os impactos dessa vibração sobre a saúde, o conforto e a percepção do indivíduo, a vibração pode ser mensurada em três direções ortogonais em posições de pé, sentadas ou deitadas, identificados como os três eixos ("x", "y", "z") em relação à superfície suportando o corpo.

O método apresentado na ISO 2631-1 trata da medição da ponderada da aceleração conforme Equação (1). No qual a_w representa a aceleração ponderada em m/s^2 e T é o tempo de duração em segundos. A relação de percepção segue conforme a Tabela 1, no caso de conforto de pessoas de pé é aplicado W_d e W_k .

$$\bar{a}_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (1)$$

Com os valores de aceleração ponderada, aplica-se a Equação (2), a raiz quadrada de cada valor de aceleração ponderada (a_{wx} , a_{wy} e a_{wz}) relativas nos eixos "x", "y" e "z", multiplicado pelos fatores respectivo de eixo "x", "kz" e "ky" (multiplicativo), tais quais são considerados como um (1). Assim obtém-se a aceleração ponderada total a_v que corresponde a vibração total.

$$\bar{a}_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (2)$$

Conforme o Anexo C da norma ISO 2631-1, uma determinada condição de exposição à vibração pode causar desconforto em certas situações, enquanto em outras pode ser vista como estimulante. Embora a percepção de conforto seja, em parte, subjetiva, muitos níveis de vibração causam reações semelhantes entre os indivíduos em relação ao que consideram aceitável. Os dados apresentados na Tabela 2 oferecem estimativas sobre as reações humanas a diferentes magnitudes de vibração total.

Tabela 2: Escala de conforto humano (ISO 2631-1, 1997).

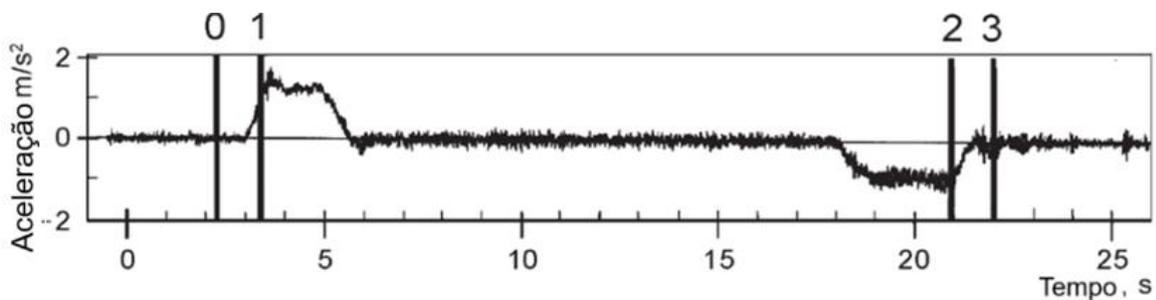
Índice de Conforto	Escala
$< 0,315 \text{ m/s}^2$	Confortável
$0,315 - 0,63 \text{ m/s}^2$	Levemente Confortável
$0,5 - 1 \text{ m/s}^2$	Pouco Desconfortável
$0,8 - 1,6 \text{ m/s}^2$	Desconfortável
$1,25 - 2,5 \text{ m/s}^2$	Muito Desconfortável
$> 2,0 \text{ m/s}^2$	Extremamente Desconfortável

De uma forma geral, os limites de conforto podem variar para cada passageiro devido às diversas amplitudes de vibração, fatores como a temperatura, as expectativas dos passageiros e as atividades que são realizadas em meio a viagem podem influenciar na avaliação de cada usuário.

2.5.2 Aceleração

A aceleração é uma medição que descreve a intensidade das vibrações no corpo humano segundo Zhang (2017), tornando-se uma base para as análises de conforto. Em viagens de transportes verticais a aceleração pode influenciar na sensação de leveza e peso de um usuário. A Figura 5 indica as regiões de medição de aceleração que devem ser consideradas, decorrentes da movimentação do elevador.

Figura 5: Avaliação da aceleração em elevadores (ISO 18738, 2003).



Regiões de aceleração e desaceleração durante o tempo de trajeto: Limite 0: 0,5s antes do fechamento da porta (início do movimento); Limite 1: 0,5s após o início do movimento; Limite 2: 0,5s antes da parada do movimento; e Limite 3: 0,5s após a abertura da porta (final do movimento). Segundo a ISO 18738 (2003), os limites servem para pré-definir as regiões das quais será apurado as quantidades sinais.

2.5.3 Aceleração Jerk

Conforme Howkins (2006), Jerk representa a taxa de variação da aceleração ao longo do tempo e é expresso em metros por segundo cúbico (m/s^3). No transporte vertical ele indica a suavidade nas transições entre partida, aceleração, desaceleração e parada. Altos valores de Jerk causam mudanças bruscas na aceleração, causando desconforto aos passageiros, compreendendo-se como a variável mais difícil de quantificar quanto à qualidade de viagem. Isso se deve à dificuldade de padronizar um valor agradável, aceitável e inaceitável deste parâmetro, já que cada pessoa percebe as

sensações provocadas por ele de formas diferentes. Por isso, o controle do Jerk é essencial para garantir viagens mais suaves e confortáveis conforme Tabela 3.

Tabela 3: Valores característicos de sobre-aceleração Jerk (Howkins, 2006).

Jerk máximo (m/s³)	Avaliação
< 2	Agradável
Entre 2 e 6	Aceitável
> 6	Inaceitável

2.5.4 Análise A95

O parâmetro A95 é utilizado para avaliar a qualidade do trajeto em elevadores, indicando a aceleração que é superada em 5% do tempo total da viagem. Ele engloba 95% das flutuações entre os picos observados no gráfico da aceleração nas coordenadas (“x”, ”y” e “z”). A unidade de medida adotada para essa análise é o "mg", que equivale a uma fração da aceleração gravitacional da Terra. Para este estudo, os valores máximos considerados do A95 conforme Tabela 4, são aqueles amplamente empregados por grandes empresas do setor de elevadores, métrica crucial para avaliar o impacto de picos de aceleração sobre o conforto dos passageiros, especialmente porque cada pessoa reage de maneira diferente às variações de movimento.

Tabela 4: Parâmetros de valores de A95 (Howkins, 2006).

Eixo analisado	A95 máximo (mg)
X	6,5*
Y	8*
Z	15*

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise dos dados de conforto em viagens de elevadores coletados a partir da aceleração nos eixos (“x”, ”y” e “z”) utiliza a metodologia presente na norma BS ISO 18738 (2003), os resultados serão concatenados e avaliados com base nos parâmetros da norma ISO 2631-1 (1997).

O dispositivo realizado para aferir as medições nas cabinas dos elevadores é o acelerômetro, um transdutor que converte energia cinética em sinal elétrico para registrar as vibrações nos três eixos ortogonais. O EVA-625, ilustrado na Figura 6, é uma ferramenta que conta com acelerômetros que possui um alcance de leitura de +/- 10g e taxa de amostragem de 1024 Hz em (“x”, ”y” e “z”), desenvolvida para avaliação da qualidade das viagens conforme a norma ISO 18738, sendo uma ferramenta amplamente aplicada na análise de conforto e identificação de defeitos em elevadores no mundo todo.

Além disso, este dispositivo é uma das poucas ferramentas capazes de aplicar um filtro de vibrações conforme a norma ISO 18738, que estabelece os índices ideais de conforto interno percebidos pelo corpo humano, utilizando um filtro Butterworth de 10 Hz, com uma característica de passa-baixa de segunda ordem. Adicionalmente, o equipamento conta com uma funcionalidade avançada para análise de vibrações, possibilitando a aplicação da transformada rápida de Fourier em um intervalo específico de dados. Isso permite identificar as frequências de vibração predominantes nesse período e diagnosticar as vibrações originadas por componentes específicos do elevador.

Figura 6: Acelerômetro utilizado para medição (modelo EVA-625).

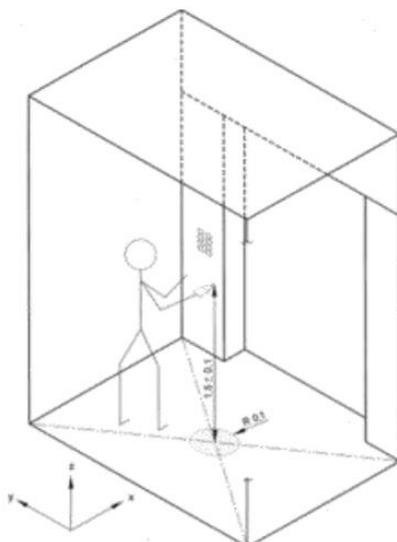


3.1 Instrumentação na cabina do elevador

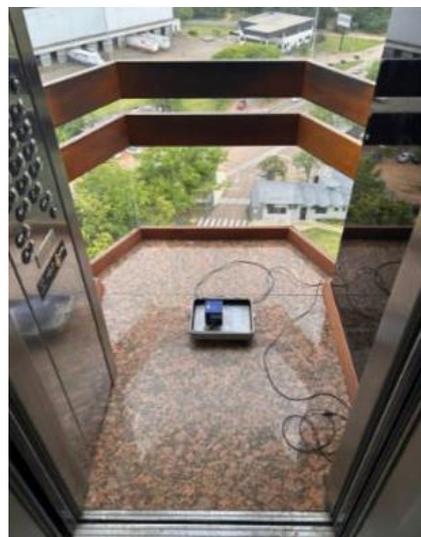
Seguindo as orientações da ISO 18738:2003 e ISO 2631-1:1997, as medições foram realizadas com o EVA-625 posicionado no centro da cabina do elevador, identificado como o ponto de “entrada” da vibração no corpo humano conforme Figura 7 (a). Após posicioná-lo, com os pés fixou-se as laterais da “maleta” garantindo que o dispositivo tenha uma fixação adequada, reduzindo possíveis interferências nos dados obtidos.

A norma orienta que o eixo “x” deve estar perpendicular a porta e a parte traseira da cabina, o eixo “y” com as laterais, e o eixo “z” perpendicular ao piso, alinhado com o movimento principal do elevador. O processo de medição foi conduzido de acordo com a norma ISO 18738:2003, iniciando a coleta de dados cerca de 0,5 segundos antes do fechamento das portas e finalizando aproximadamente 0,5 segundos após sua abertura no andar de chegada, sendo feito apenas por uma pessoa dentro da cabina conforme ISO 2631-1:1997, conforme Figura 7 (b).

Figura 7: – (a) Posição do EVA-625 na cabina (Fonte: ISO-18738:2003). (b) Posição de medição realizada em obra no equipamento “A” (Catedral de Porto Alegre, 2024).



(a)



(b)

3.2 Ascensores analisados

Os elevadores que foram escolhidos localizam-se na Catedral de Porto Alegre, Rua Duque de Caxias, número 1208, Bairro Centro. Trata-se de elevadores internos (privativos), se encontram em pleno funcionamento para o uso de pessoas autorizadas. Os equipamentos possuem aproximadamente 30 anos de sua instalação, pertencendo ao grupo de quatro elevadores que constituem a frota de atendimento da Catedral, dentre esses quatro equipamentos foi optado pela análise de dois que possuem características de projeto semelhante, descrito na Tabela 5.

Tabela 5: Características comerciais dos elevadores.

Identificação do Equipamento	Marca	Apelido	Condição	Idade
A	Atlas	Torre 1 Serviço	Original	30 anos
B	Atlas	Torre 1 Social	Modernizado	30 anos

A modernização parcial foi realizada no ascensor 195956 em 16/10/2023. Foi aplicada a instalação de um kit GL-POWER, constituído de troca do quadro de comando (manobra), máquina de tração *gearless*, cabina e periféricos constituintes, conforme Tabela 6. Atualmente todos os equipamentos pertencem ao contrato de manutenção TKE Service.

Tabela 6: Características técnicas dos elevadores.

Identificação do Equipamento	Velocidade	Tração	Capacidade	Percurso
A	60m/min	Simplex	600kg	44,6 metros
B	60m/min	Simplex	600kg	44,6 metros
Identificação do Equipamento	Quadro de comando	Potência	Tipo de Máquina	Ano de Modernização
A	AC2 a Relé	7,2kW	Geared	-
B	FDN M25	7,2kW	Gearless	2023

O quadro de comando FDN M25 (*Frequencedyne*) do elevador modernizado “B”, equipado com máquina *gearless*, permite ajustar de forma precisa os parâmetros relacionados à variação da aceleração, algo que não era possível com os equipamentos anteriores. Durante o processo de modernização, uma etapa crucial é o ajuste dessa taxa para otimizar as curvas de aceleração e desaceleração, proporcionando viagens mais suaves e confortáveis. No elevador “A” com quadro de comando AC2 a relé, possuindo máquinas *geared*, o controle da aceleração é limitado, resultando em arranques e paradas mais bruscos devido à operação mecânica do sistema. A modernização para o quadro FDN com máquina *gearless* não apenas melhora o conforto dos passageiros, mas também aumenta a eficiência no controle de movimento, oferecendo uma experiência de viagem significativamente aprimorada e com menor desgaste dos componentes.

As medições foram realizadas em novembro de 2024. Conforme ISO 8100-34, a cotação respectiva para cada equipamento foi feita a partir dos extremos (primeiro até último piso) para a descida e subida respectiva do equipamento. Os elevadores possuem o mesmo percurso e velocidade, atendendo os pavimentos em comum aos usuários.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições foram realizadas representando o uso diário dos passageiros do edifício. Considerando um intervalo de tempo de obtenção dos dados de 24 a 26 segundos aproximadamente, de extremo a extremo. As análises para os dois equipamentos foram conduzidas com o uso do dispositivo EVA-625, com o objetivo de obter as a intensidade da aceleração dentre a viagem em

percurso. Após a coleta de dados em campo, foi aplicado um filtro de 10 Hz. As acelerações registradas foram expressas em mg, onde 1 mg equivale a $9,87 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$.

4.1 Avaliação do equipamento A

A partir das duas medições realizadas, extremo inferior ao superior e superior ao inferior, obteve-se as aferições nos três eixos de entrada de vibração na cabina e a curva de aceleração do equipamento. É possível visualizar, nas Figuras 8 e 9 demarcado em preto, a saída de inércia do equipamento correspondendo ao movimento vertical, seguindo da estabilização da velocidade (velocidade máxima atingida) e posteriormente a sua desaceleração para a parada final.

Avaliando o comportamento dinâmico do equipamento podemos verificar que os eixos “x” e “y”, que representam os movimentos laterais e frontais, apresentaram baixas variações de aceleração para o conforto dos passageiros. No entanto, o eixo “z”, responsável pelo movimento vertical, destacou-se por apresentar as maiores magnitudes de variação de aceleração. Este comportamento é especialmente relevante, pois o movimento vertical afeta diretamente a sensação de conforto dos passageiros. Assim, o eixo “z” foi identificado como o mais crítico para análise, sendo fundamental priorizar sua estabilidade para assegurar o cumprimento dos padrões de qualidade e segurança.

Figura 8: – Gráficos de aceleração na subida (*software* Henning): Gráfico de velocidade no eixo “z”. Gráfico de vibração no eixo “x”. Gráfico de vibração no eixo “y”. Gráfico de vibração no eixo “z”.

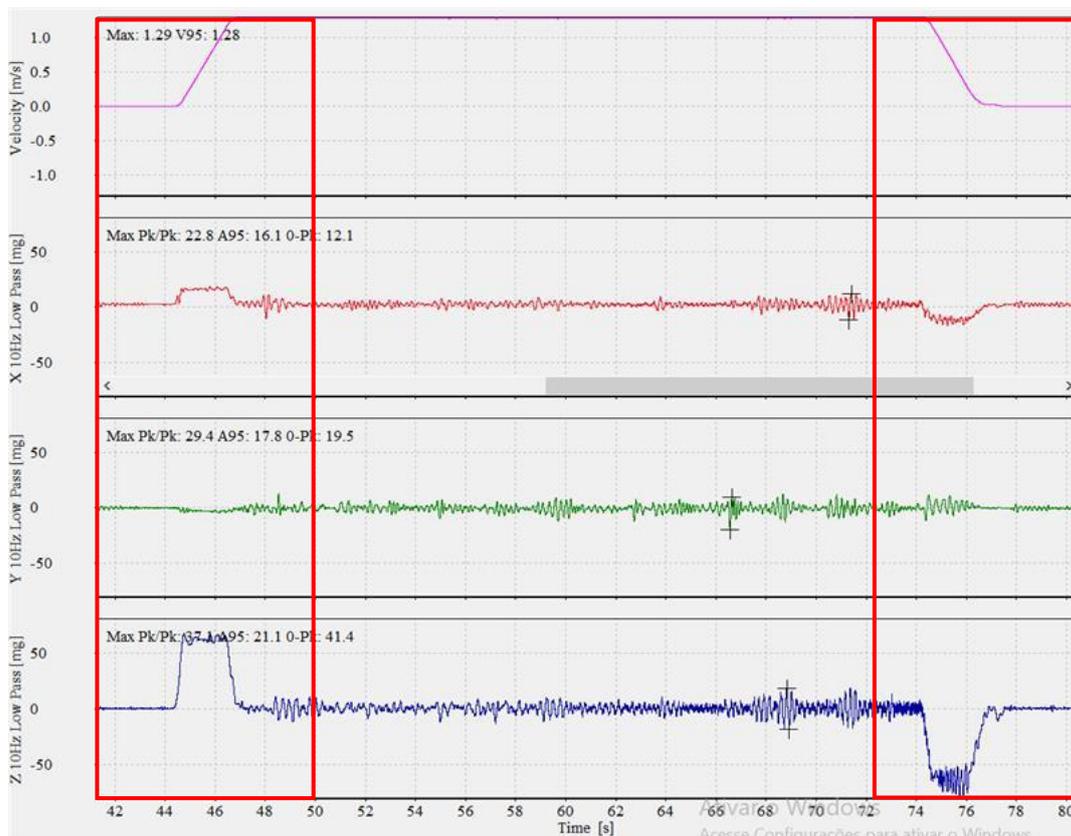
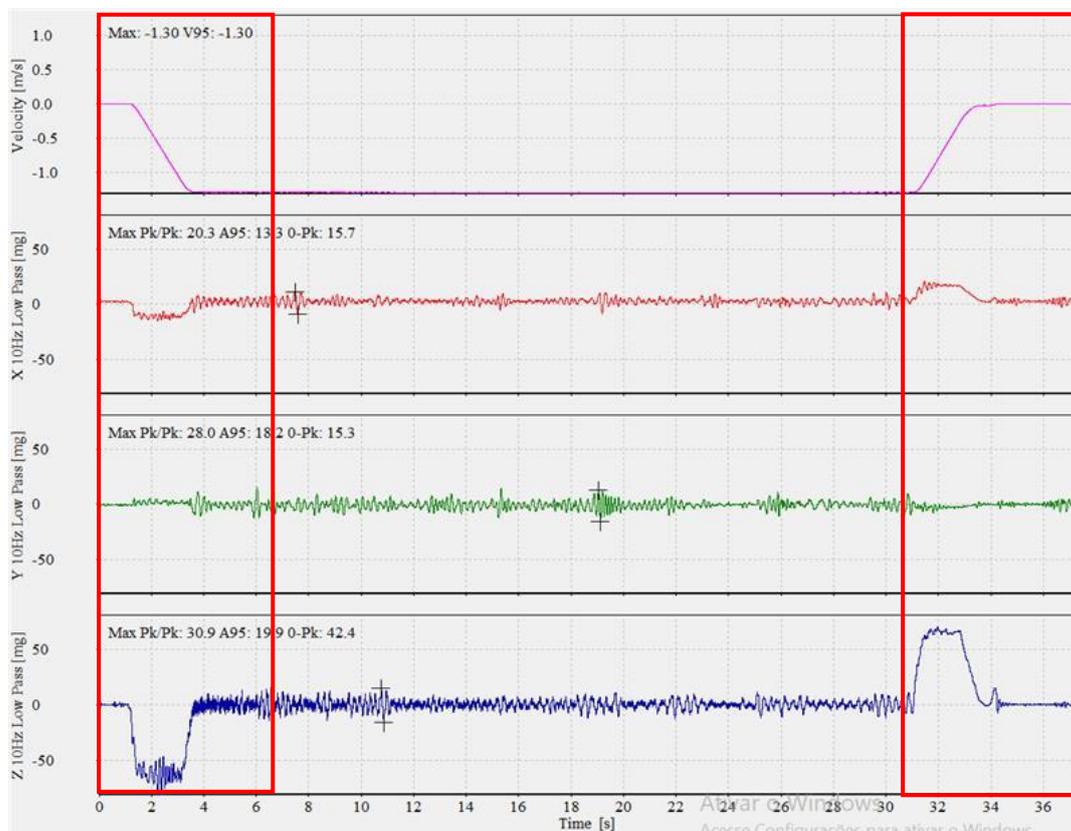


Figura 9: – Gráficos de aceleração na descida (software Henning): Gráfico de velocidade no eixo “z”. Gráfico de vibração no eixo “x”. Gráfico de vibração no eixo “y”. Gráfico de vibração no eixo “z”.



Os resultados das medições, apresentados na Tabela 7 e Tabela 8 (destacados em vermelho), mostram os valores médios de aceleração obtidos para os três eixos. Com base no parâmetro A95 (Tabela 4), utilizado para avaliar a qualidade do trajeto, os eixos “x” e “y” mantiveram-se dentro dos limites considerados viáveis para o conforto. Entretanto, o eixo “z”, que monitora o movimento vertical, apresentou um valor de 21,9 mg (média entre as duas cotações), indicando maior instabilidade. Esse resultado excede os parâmetros de conforto estabelecidos pela A95, destacando o eixo “z” como um ponto crítico na análise de desempenho do equipamento.

Tabela 7: Resultado das medições realizadas: Aceleração do extremo inferior ao superior.

ISO Ride Quality [mg]	X	Y	Z Const.	Z Non-const.
Max. Pk to Pk	10,6	12,7	50,5	32,1
A95	6,6	7,7	21,9	28,1

Tabela 8: Resultado das medições realizadas: Aceleração do extremo superior ao inferior.

ISO Ride Quality [mg]	X	Y	Z Const.	Z Non-const.
Max. Pk to Pk	11,1	15,2	43,3	37,8
A95	6,1	7,9	21,9	29,1

4.2 Avaliação do equipamento B

De maneira semelhante ao equipamento “A” as medições realizadas para o segundo elevador, nos trajetos de extremo inferior ao superior e superior ao inferior, permitiram a análise das acelerações nos três eixos de vibração na cabina. As curvas de aceleração, apresentadas nas Figuras 10 e 11 (demarcado em vermelho), evidenciam o comportamento inicial do equipamento saindo da inércia, estabilizando durante o alcance da velocidade máxima e a desaceleração progressiva até a parada final. Contudo é possível visualizar que o movimento de saída e chegada acontece de forma estável e progressiva, havendo um controle de aceleração (arranque) e desaceleração do equipamento.

Ao examinar os dados obtidos, observou-se que os eixos “x” e “y” mantiveram variações de aceleração dentro de limites confortáveis, similares ao comportamento do primeiro elevador. Entretanto, o eixo “z”, divergindo do equipamento “A”, também permaneceu dentro dos padrões aceitáveis de conforto, diferentemente do primeiro equipamento. Esse resultado demonstra que o segundo elevador apresenta melhor desempenho dinâmico no eixo “z”, garantindo uma experiência mais estável e confortável para os passageiros.

Figura 10: - Gráficos de aceleração na subida (software Henning): Gráfico de velocidade no eixo “z”. Gráfico de vibração no eixo “x”. Gráfico de vibração no eixo “y”. Gráfico de vibração no eixo “z”.

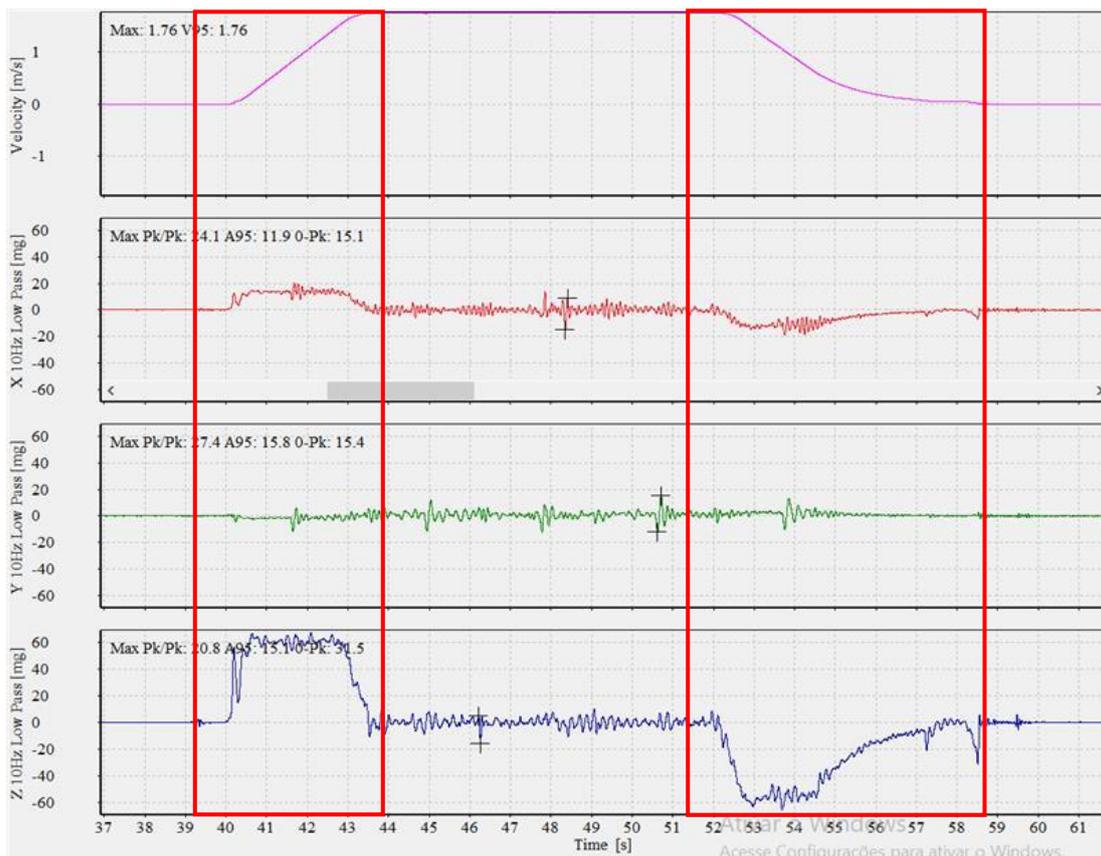
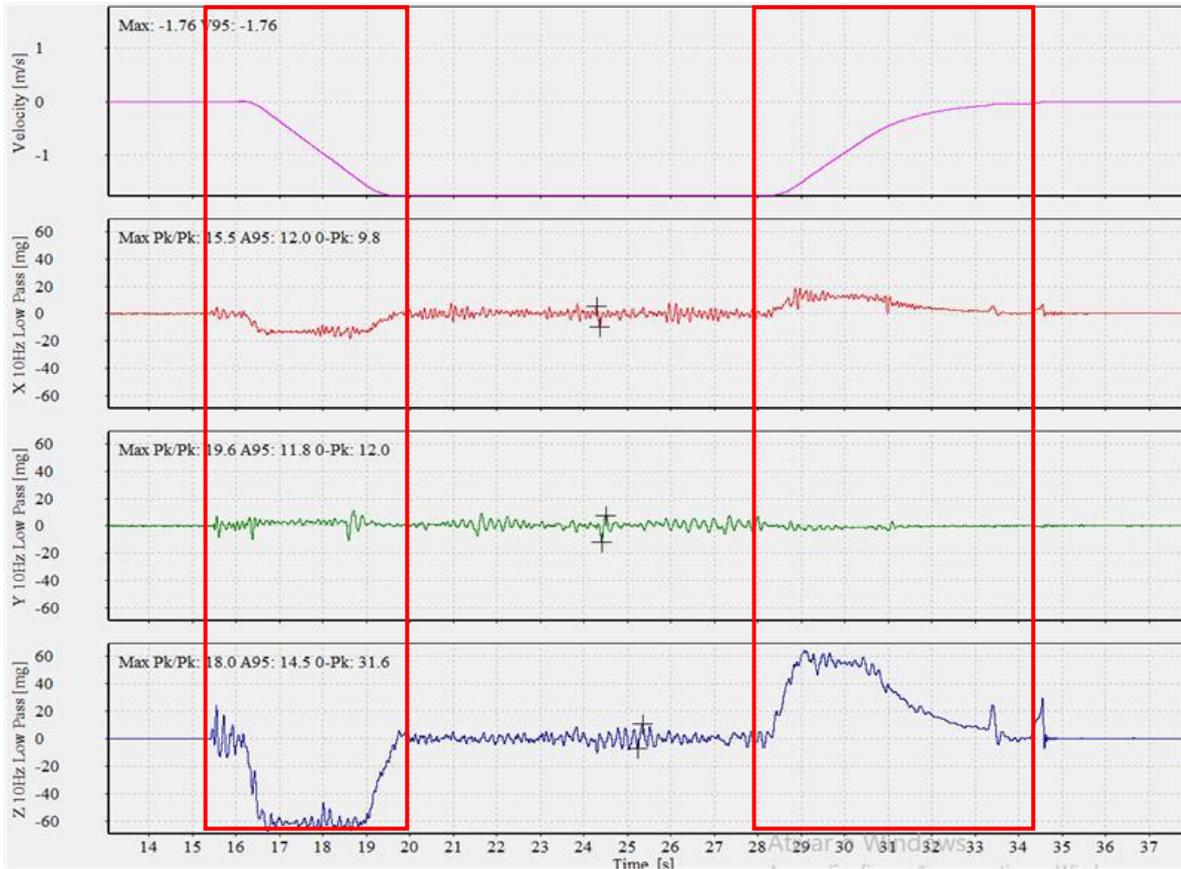


Figura 11: – Gráficos de aceleração na descida (software Henning): Gráfico de velocidade no eixo “z”. Gráfico de vibração no eixo “x”. Gráfico de vibração no eixo “y”. Gráfico de vibração no eixo “z”.



Os resultados das medições, apresentados na Tabela 9 e Tabela 10 (destacados em vermelho), mostram os valores médios de aceleração obtidos para os três eixos. Com base no parâmetro A95 (Tabela 4), utilizado para avaliar a qualidade do trajeto, os eixos “x” e “y” mantiveram-se dentro dos limites considerados viáveis para o conforto. O eixo “z” por sua vez, de forma diferente do equipamento “A”, apresentou um valor de 13,7 mg (média entre as duas cotações), permanecendo dentro dos padrões de conforto estabelecidos pela A95. Esses resultados indicam que o desempenho dinâmico do equipamento é consistente em todos os eixos, garantindo uma experiência de trajeto estável e confortável para os passageiros.

Tabela 9: Resultado das medições realizadas: Aceleração do extremo inferior ao superior.

ISO Ride Quality [mg]	X	Y	Z Const.	Z Non-const.
Max. Pk to Pk	9,4	12,8	37,3	64,6
A95	3,6	2,9	13,5	18,9

Tabela 10: Resultado das medições realizadas: Aceleração do extremo superior ao inferior.

ISO Ride Quality [mg]	X	Y	Z Const.	Z Non-const.
Max. Pk to Pk	7,4	12,5	25,6	91,0
A95	4,4	3,1	14,0	72,6

4.3 Comparação entre equipamento A e equipamento B

Ao comparar os dois elevadores analisados, é possível observar diferenças significativas no desempenho dinâmico e no cumprimento dos parâmetros de conforto estabelecidos pela norma A95 (Howkins, 2006). O Equipamento “A”, com comando AC2 (a relé) e máquina de tração *geared*, apresentou valores de aceleração nos eixos “x” e “y” de 6,35 mg e 7,80 mg, respectivamente. No entanto, o eixo “z” registrou um valor de 21,90 mg, ultrapassando os limites recomendados pela A95, o que indicou uma maior instabilidade vertical, afetando negativamente o conforto e qualidade da viagem para os passageiros. Por outro lado, o Equipamento “B”, com comando FDN e máquina de tração *gearless*, obteve valores de aceleração nos eixos “x” e “y” de 4,0 mg e 6,0 mg, respectivamente, ambos dentro dos limites de conforto. O eixo “z” deste equipamento também se manteve dentro dos parâmetros da A95, com um valor de 13,75 mg, indicando uma operação mais estável e confortável. Dessa forma, o Equipamento “B” que foi modernizado se destaca pela melhor performance em termos de conforto e estabilidade, especialmente no eixo “z”, o que o torna mais adequado para atender aos critérios de qualidade e segurança exigidos.

Apesar das diferenças de desempenho entre os dois equipamentos, ambos atendem à escala de conforto humano definida pela norma ISO 2631-1 conforme Tabela 2, que estabelece os limites de aceleração aceitáveis para garantir a segurança e o bem-estar dos passageiros. O Equipamento “A” (Tabela 11), apesar de apresentar uma variação no eixo “z” determinado como inaceitável, segundo parâmetros A95, está dentro a escala de conforto não prejudicial. O Equipamento “B” (Tabela 12), com valores de aceleração inferiores, mantém-se completamente dentro dos limites de conforto estabelecidos tanto para a ISO quanto para A95, proporcionando uma experiência de trajeto mais estável e confortável. Ambos os elevadores, portanto, demonstram conformidade com os critérios exigidos pela norma, assegurando que os padrões de conforto humano sejam atendidos em sua totalidade.

Tabela 11: Avaliação de resultados do equipamento “A”: Medidas (mg/s) x Parâmetro A95 (mg/s) e Medidas (mg/s²) x Escala de conforto humano (m/s²).

Elevador A				
Eixos	Medidas (mg/s)	Parâmetro A95 (mg/s)	Medidas (m/s ²)	Escala de conforto (m/s ²)
X	6,35	Aceitável < 6,5	0,063	Confortável < 0,315
Y	7,80	Aceitável < 8	0,077	Confortável < 0,315
Z	21,90	Inaceitável > 15	0,216	Confortável < 0,315

Tabela 12: Avaliação de resultados do equipamento “B”: Medidas (mg/s) x Parâmetro A95 (mg/s) e Medidas (mg/s²) x Escala de conforto humano (m/s²).

Elevador B				
Eixos	Medidas (mg/s)	Parâmetro A95 (mg/s)	Medidas (m/s ²)	Escala de conforto (m/s ²)
X	4,0	Aceitável < 6,5	0,039	Confortável < 0,315
Y	6,0	Aceitável < 8	0,059	Confortável < 0,315
Z	13,75	Aceitável < 15	0,136	Confortável < 0,315

5 CONCLUSÃO

Este estudo visou a análise comparativa dos parâmetros de conforto no transporte vertical por elevadores, com foco na avaliação das acelerações medidas nos três eixos de movimento (“x”, “y” e “z”) dos equipamentos analisados. A pesquisa foi conduzida com base nos critérios estabelecidos pela norma ISO 2631-1:1997 e 8100-34 que tratam da avaliação das vibrações e acelerações transmitidas aos passageiros, e pelo parâmetro A95 (Howkins, 2006), utilizado para avaliar a qualidade do trajeto e a sensação de conforto durante o uso do equipamento. A análise dinâmica dos dois elevadores, um com comando AC2 (a relé) e máquina de tração engrenada (*geared*), e outro com comando FDN VVVF e máquina de tração elétrica (*gearless*), revelou diferenças no comportamento de aceleração, especialmente no eixo vertical (“z”), que é crucial para a percepção de conforto dos usuários.

O equipamento “A” apresentou valores de aceleração no eixo “z” de 21,90 mg, o que excedeu os limites recomendados. Esse valor fora dos parâmetros da A95 sugere que, embora o sistema de comando AC2 e a tração engrenada possam ser eficazes para determinadas condições operacionais, sua aplicação pode resultar em desconforto para os passageiros devido às variações de aceleração verticais mais intensas. Por outro lado, o equipamento “B”, com um sistema de comando FDN e tração elétrica *gearless*, demonstrou um desempenho superior, mantendo todas as medições dentro dos limites de conforto da norma ISO 2631-1:1997, com valores de aceleração nos eixos “x”, “y” e “z” abaixo de 13,75 mg, o que indica uma operação mais suave e estável. Essa constatação sugere que o uso de sistemas de controle mais modernos e tração sem engrenagem contribui para um melhor controle das variações de aceleração, oferecendo uma experiência de viagem mais confortável e alinhada aos parâmetros internacionais de conforto humano.

Além das diferenças no desempenho dinâmico entre os equipamentos, este estudo também destaca a importância da análise de aceleração no eixo “z” como um indicador crítico para a estabilidade e o conforto do trajeto. Os resultados indicam que, para garantir a conformidade com as normas de conforto e segurança, a escolha do tipo de comando e de máquina de tração tem impacto direto na qualidade da experiência do passageiro, especialmente no que se refere à redução das oscilações verticais.

Portanto, a modernização dos sistemas de elevadores, especialmente a adoção de comandos mais avançados como o FDN e máquinas de tração elétrica, pode proporcionar melhorias substanciais na redução das vibrações e acelerações indesejadas, elevando o nível de conforto dos passageiros. Além disso, as evidências apresentadas reforçam a necessidade de um monitoramento contínuo dos parâmetros de desempenho dos elevadores em operação, visando garantir que os limites de aceleração sejam sempre mantidos dentro das faixas seguras e confortáveis.

Este trabalho contribui para a compreensão dos efeitos das tecnologias de tração e controle no conforto dos passageiros de elevadores, sendo uma base importante para futuras pesquisas que possam explorar outras variáveis, como o impacto das modernizações no consumo de energia, tempo de viagem e a satisfação geral dos usuários. A continuidade da investigação nessa área pode resultar em diretrizes mais precisas para o desenvolvimento de sistemas de transporte vertical mais eficientes e confortáveis.

6 AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho não seria possível sem o apoio e colaboração de várias pessoas que, de diferentes maneiras, contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

A minha família, meu pai Ilso Bortolini, minha mãe Carla Berra Bortolini e minha namorada Luana Casati Fraga, que sempre acreditaram no meu potencial e me ofereceram o suporte necessário, seja com palavras de incentivo ou com gestos de carinho. Sem vocês, esse projeto não teria sido possível.



Agradeço ao meu orientador, Sérgio Boscato Garcia, pela orientação, paciência e pelas valiosas contribuições ao longo de toda a pesquisa. Suas orientações me desafiaram a aprimorar meu conhecimento e a levar a análise deste trabalho ao êxito. Agradeço também aos meus colegas e amigos que fiz dentro o período da graduação, compartilhando experiências e momentos importantes durante essa jornada.

Por fim, agradeço a todos os profissionais e especialistas que contribuíram diretamente para a realização das medições e pela troca de conhecimentos.
Muito obrigado!

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BS ISO 18738:2003, **Lift (elevators) – measurement of lift ride quality**. British Standard International Organization for Standardization, 2003.

CULAU, E. L. **Análise Comparativa de Vibrações e Conforto em Elevadores com Diferentes Sistemas de Acionamento**. 2016. 15 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

DORNELES, G. F. **Análise do conforto interno de elevador: Um estudo de caso**. 2024. 30 folhas. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico, Porto Alegre, 2024.

GUO, L., JIANG, X. **Research on Horizontal Vibration of Traction Elevator**. In: Wang K., Wang Y., Strandhagen J., Yu T. (Eds) *Advanced Manufacturing and Automation VIII*. IWAMA 2018. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 484. 2019. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2375-1_18

HERNELIND, J., ROIVAINEN, G. **High rise elevators – challenges and solutions in ride comfort simulations**. *Science in the Age of Experience*, 2017. <http://www.3ds.com/events/science-in-the-age-of-experience>.

HOWKINS, R. E., 2006, **Elevator Ride Quality**, IAEE Book Elevator Technology, V. 16, p.22-23, Ed. A. Lustig, Helsinki.

ISO 2631-1:1997. **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements**. International Organization for Standardization, 1997.

MONGE, R., GÓMEZ, A. **Methodology to identify noise and vibrations problems for ride quality improvements**. Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza, Spain, 2020.

RAO, S. S. **Mechanical Vibrations**. Pearson, 6th Edition, 1147p. 2017.

VERMA, S. **Invention Story of Elevator**. Engineering Garage: Na EE world online resource. October 3, 2013. <https://www.engineersgarage.com/invention-story-of-elevator/> . Acessado em 04/09/2024.

ZHANG, Y., SUN, X., SHAO, X., SU, W. **Elevator ride comfort monitoring and evaluation using Smartphones**. *J. of Mech. Systems and Signal Processing*, V. 105: 377–390, 2018.