



# Vibração induzida pelo tráfego de veículos em edificações de valor patrimonial

Gevú, N. V.<sup>1</sup>; Varela, W. D.<sup>2</sup>; Niemeyer, M. L. A.<sup>3</sup>

<sup>{1,3,2}</sup> PROARQ/FAU, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
{nayaragevu, lygianiemeyer}@gmail.com, wendell@fau.ufrj.br

---

## Resumo

Considerado um dos grandes atores no processo de reestruturação das cidades, o sistema viário pode impactar diretamente o patrimônio edificado. O tráfego de veículos, fonte de vibração e ruído pode comprometer a integridade física das construções e, principalmente, a integridade de edificações de valor patrimonial, consideradas sensíveis do ponto de vista estrutural. O objetivo principal do presente trabalho é avaliar o impacto da vibração induzida pelo tráfego de veículos em edificações de valor patrimonial. As etapas metodológicas desenvolvidas acompanham as seguintes etapas: observações em campo; medições de vibração; avaliação, adotando e confrontando os resultados obtidos com os parâmetros recomendados por normativas internacionais para a análise da vibração. Para o recorte deste artigo foram selecionadas três fachadas de edificações de valor patrimonial para análise: Igreja de Santa Cruz dos Militares, Sobrados e Paço Imperial, situadas na rua mais antiga da cidade do Rio de Janeiro, Rua Primeiro de Março. Através dos resultados encontrados conclui-se que essas edificações estão expostas a vibrações excessivas, que podem afetar sua estrutura e sua plena utilização. Tal resposta reforça a necessidade de se elaborar a nível nacional uma normativa específica para avaliação de danos causados às edificações por vibração gerada por tráfego de veículos.

**Palavras-chave:** vibração, tráfego de veículos, patrimônio.

## Abstract

The road system is considered one of the most important actors in the process of redesigning cities and can directly impact heritage buildings. The physical integrity of the buildings, especially the heritage ones, might be compromised by vehicle traffic in nearby streets which is one of the sources of noise and vibration at the cities. The main goal of this research is to assess the impact of vehicle traffic induced vibrations in heritage buildings. This was achieved using the following methodology: field observations; vehicle traffic induced vibration measurements in heritage buildings; vibration assessment according to international guidelines recommendations. It is presented here in the vibration assessment of three facades of heritage buildings in Primeiro de Março street in Rio de Janeiro city: Santa Cruz dos Militares Church; Imperial Palace; old townhouses. It can be concluded that these buildings are subject to excessive vibrations that might affect their structural integrity and/or interrupt their full usage. This strengthens the need for the development of a national standard in this subject to better assess the potential damage to heritage buildings that can be generated by vehicle traffic induced vibrations in nearby streets.

**Keywords:** vibration, traffic, heritage.

## 1. Introdução

O tráfego de veículos, além de contribuir para a poluição sonora e do ar, é responsável por impactos vibratórios que são transmitidos às edificações através do solo. Essas vibrações constituem um grande problema ambiental, na medida em que podem causar desconforto nos usuários, perturbação em equipamentos sensíveis e danos estruturais. As transformações urbanas, que vão abrindo cada vez mais espaços para os automóveis, fontes de vibração e ruído, resultam num fluxo maior de veículos, que implicam intervenções, como alargamento de vias e redução das calçadas, diminuindo a distância entre a fonte e o receptor. Essa proximidade cada vez maior entre as edificações e a estrutura viária é complexa, principalmente quando se trata de vibração e, mais complexa ainda, quando não se consideram as características das construções do entorno [1].

As vibrações provenientes do tráfego viário afetam principalmente a capacidade de manutenção de estruturas existentes em seu entorno, vizinhas. A frequência e a magnitude das vibrações induzidas variam em função de muitos parâmetros, como: propriedades do solo, características e estado do pavimento; condições e características do veículo; distância da via para a estrutura.

A idade e o estado de conservação do edifício são fatores importantes na avaliação de tolerância à vibração. A norma britânica BS 7385-2 de 1993 apresenta alguns fatores que podem influenciar nessa resposta [2]. Cada tipologia de edificação poderá ter fragilidades em relação aos efeitos da vibração, como edifícios mais antigos que podem ter juntas em argamassa macia, fundações simples ou frágeis contraventamentos. De acordo com a norma italiana UNI 9916 (2004), o estado de conservação do edifício pode exercer considerável influência na extensão dos danos causados pelas vibrações [3]. A norma também atenta para a verificação direta das fissurações e deformações a fim de identificar os fenômenos de degradação existentes e suas causas. Edificações de valor patrimonial são consideradas mais sensíveis do ponto de vista estrutural e podem sofrer de forma mais intensa os efeitos das vibrações viárias.

Considerando o contexto de vibrações e edificações históricas/patrimônio encontramos pesquisas nacionais e internacionais nos seguintes autores [4-14]: Nelson e Viranuvut (1973), Karantoni e Bouckovalas (1997), Clemente e Rinaldis (1998), Santos e Valério (2006), Resende (2011), Monti et al. (2013), Miranda, Rocha e Niemeyer (2016), Almeida e Dornelas (2016), Dornelas (2017), Gevú (2017) e Forma et al (2022). Segundo estes trabalhos citados, foi possível perceber que os principais fatores envolvidos na vibração e sua interferência em edifícios históricos são: o tipo e irregularidades no pavimento, o tipo de solo, o tipo construtivo das edificações e sua distância da fonte vibratória.

De acordo com Bachmann et al. (1995), a interação do veículo com o pavimento tem como principais causas de vibrações a velocidade do veículo e a irregularidade da superfície da via. A resultante força dinâmica interativa traduz-se em impactos de pulso curto. As deflexões do pavimento e do subsolo sob o peso do veículo provocam excitações de maior duração [15].

A cidade é um organismo vivo em constante processo de modificação. Desde sua origem, muitas camadas se inscrevem a todo o tempo. Muitas cidades brasileiras têm um acervo valioso de patrimônio histórico e arquitetônico, e preservá-lo é de extrema importância para manter viva a sua memória para as gerações futuras.

Este artigo representa um recorte da pesquisa desenvolvida na tese de doutorado da autora [1]. Para este recorte foram selecionadas três fachadas de edificações de valor patrimonial para análise: Igreja de Santa Cruz dos Militares, Sobrados e Paço Imperial, situadas na rua mais antiga da cidade do Rio de Janeiro, Rua Primeiro de Março.

## 2. Fundamentos

Neste item são apresentados os parâmetros de avaliação das vibrações e os limites recomendados pelas normas internacionais que tratam do tema, como também apresenta o objeto de estudo e seus aspectos morfológicos.

### 2.1 Avaliação das vibrações

De acordo com a norma britânica BS 7385-2, o pico de velocidade de partícula é considerado a melhor resposta para avaliar a ocorrência de danos induzidos por vibração [2]. Os danos ocorrem devido ao excesso de tensão estrutural, causado por qualquer distorção, como o movimento do edifício que acompanha o movimento do solo.

O PVP aponta o valor máximo do movimento de uma partícula em um ponto de uma superfície ou de uma estrutura e deverá ser analisado "pelo vetor resultante das medidas nos três eixos ortogonais (X, Y e Z) em função do tempo" [16]. O fator causador dos danos estruturais ou da incomodidade é o deslocamento diferencial que origina uma torção/flexão na estrutura ou a mudança do vetor velocidade que produz forças de inércia na estrutura [17].

O método indicado de medição de PVP é gravar simultaneamente históricos de tempo dos três componentes ortogonais de aceleração, o que permite que qualquer valor desejado seja extraído em uma fase posterior [2]. O valor máximo dos três componentes ortogonais deve ser usado para a avaliação, uma vez que os dados sobre os quais os valores-guia foram em sua maioria baseados são expressos em um componente de pico de velocidade de partícula.

Durante as medições também foram registradas observações subjetivas importantes, recomendadas pela norma britânica: se a vibração é detectável por tato, barulho das janelas ou algum efeito sonoro; se a vibração é pior no térreo, em outros pavimentos ou em locais específicos; a duração aproximada e a frequência de ocorrência da vibração.

Para a avaliação da vibração, é necessário comparar o PVP com o limite de vibração apropriado para o tipo de edifício. É importante também avaliar a possibilidade de dano induzido por vibração, de acordo com o estado da estrutura do edifício.

### 2.2 Normas e Legislação

A nível nacional, ainda não existe uma norma específica para avaliação de danos causados às edificações por vibração gerada por tráfego de veículos.

A referência internacional para avaliação dos efeitos da vibração nos edifícios é a norma alemã DIN 4150-3:1999 - Vibração em edifícios, efeito em estruturas [18]. A norma define valores de Pico de Vibração da Partícula (PVP) em função da tipologia estrutural do edifício e das condições de conservação, a fim de que não ocorram danos estruturais (Tabela 1). Essa norma é aceita em toda união europeia e serviu também como base e referência para várias normativas próprias de países europeus [19].

**Tabela 1:** Limites de PVP (mm/s) para integridade estrutural (DIN 4150-3, 1999)

| Categorias e tipos de edificação                                                                                | PVP (mm/s)<br>Todas as<br>frequências | PVP (mm/s)<br>< 10 Hz | PVP (mm/s)<br>10 - 50 Hz | PVP (mm/s)<br>50 - 100 Hz |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1 - Edificações de concreto armado e de madeira em boas condições                                               | 40                                    | 20                    | 20 a 40                  | 40 a 50                   |
| 2 - Edificações em alvenaria em boas condições                                                                  | 15                                    | 5                     | 5 a 15                   | 15 a 20                   |
| 3 - Edificações de alvenaria em más condições de conservação e edificações consideradas de patrimônio histórico | 8                                     | 3                     | 3 a 8                    | 8 a 10                    |

Como parâmetro adotado neste trabalho, foi considerado para a categoria 3 (edificações consideradas de patrimônio histórico) o valor limite de 8mm/s recomendado para todas as frequências pela norma alemã DIN 4150-3 de 1999.

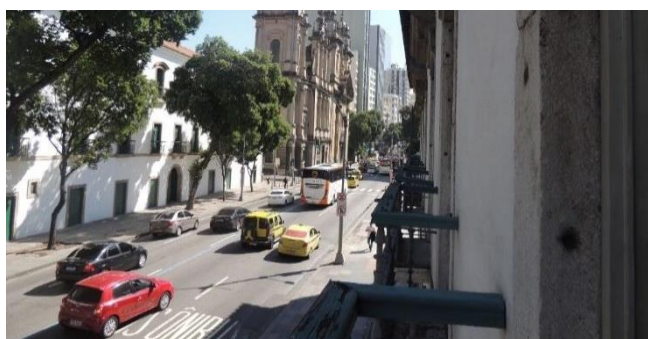
### 2.3 Via de tráfego

A Rua Primeiro de Março (Figura 1) é uma via arterial de um único sentido e possui 4 faixas de tráfego, duas delas exclusivas para ônibus. Em seu trecho central existem baias dos dois lados, na lateral direita onde está localizado o ponto de ônibus e na lateral esquerda para estacionamento e ponto de táxis. Sua caixa de rolamento tem pavimento asfáltico e sua largura varia entre 11 e 18 metros aproximadamente. No trecho onde se localizam as edificações estudadas existem 2 pontos de ônibus e 4 sinais de trânsito. As calçadas variam de largura, aumentando e diminuindo a distância para a caixa de rolamento (Tabela 2). Considerada uma via arterial, a velocidade máxima permitida para essa via é de 60 km/h para veículos leves e 50 km/h para veículos pesados.

**Tabela 2:** Via de tráfego na direção das edificações estudadas (Autor)

| Edificação                         | Baia | Largura faixas (m) | Largura total* (m) | Calçada (m) |
|------------------------------------|------|--------------------|--------------------|-------------|
| Igreja de Santa Cruz dos Militares | --   | 11,60              | 11,60              | 6,50        |
| Sobrados                           | 2    | 11,60              | 18,00              | 5,50        |
| Paço Imperial                      | --   | 11,60              | 11,60              | 4,80        |

\* *Largura total: largura das faixas + baias*

**(a)** Via de tráfego com quatro faixas e duas baias na direção dos Sobrados (Autor, 2021).**(b)** Via de tráfego com quatro faixas na direção do Paço Imperial (Autor, 2022).**Figura 1:** Rua Primeiro de Março.

A largura das faixas se relaciona com o volume de tráfego que pode haver na região. A largura da calçada representa a proximidade da via com a edificação. A distância entre a fonte de vibração e a edificação é uma das características que mais impactam a amplitude das vibrações que chegam à edificação.

Estudos mostraram que as características da superfície do pavimento e os desníveis da estrada são fatores determinantes para a magnitude das vibrações [20-22].

Em relação à condição da superfície de rodagem (Figura 2), são observadas bocas-de-lobo fora do nível do pavimento, trechos com reparos no asfalto e rugosidades ao longo da via.



**Figura 2:** Irregularidades no pavimento asfáltico (Autor, 2022).

## 2.4 Edificações de valor patrimonial

Representando um núcleo histórico de tamanha importância para memória da cidade do Rio de Janeiro, a Rua Primeiro de Março conta com um acervo valioso de edificações. As diversas tipologias convivem em harmonia nesse espaço urbano, que conta com representantes de muitos estilos arquitetônicos desde a fundação da cidade.

A propagação da energia vibratória está relacionada a muitos aspectos, entre eles, as características das edificações avaliadas. De acordo com a norma italiana [3] a descrição do edifício, o tipo de construção e fundação, o estado geral da estrutura do edifício e a idade aproximada da construção são dados importantes a serem analisados (Tabela 3).

**Tabela 3:** Edificações de valor patrimonial (Autor)

| Edificação                         | Ano construção |      | Estilo arquitetônico  | Tombamento |
|------------------------------------|----------------|------|-----------------------|------------|
| Igreja de Santa Cruz dos Militares | 1780           | 1811 | Colonial, neoclássica | Nacional   |
| Sobrados*                          | 1788           | 1907 | Eclético              | Conjunto   |
| Paço Imperial                      | 1738           | 1743 | Colonial              | Nacional   |

*\*Datas encontradas para sobrados diferentes*

As edificações históricas apresentam características da época e do período histórico em que foram construídas. Entretanto, em muitos casos, essas edificações também incorporaram características da época das inúmeras intervenções a que foram submetidas até os dias atuais. A identificação dos estilos arquitetônicos das edificações contribui para uma caracterização estilística dos ornamentos e composições de elementos considerados mais frágeis e mais sensíveis aos impactos de vibração.

A Igreja de Santa Cruz dos Militares (Figura 3) com o início de sua construção datada de 1780, teve sua fachada inaugurada no ano de 1811. A igreja foi tombada pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio e Artístico Nacional) por sua importância cultural, e inscrita nos Livros de Belas Artes e Histórico em

julho de 1938. O tombamento inclui todo o seu acervo, de acordo com a Resolução do Conselho Consultivo da SPHAN (Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) de 13/08/85.



(a) Fachada da Igreja (Autor, 2022).

(b) Fluxo de tráfego na direção da Igreja (Autor, 2022).

**Figura 3:** Igreja de Santa Cruz dos Militares.

Os Sobrados (Figura 4) localizados na Rua Primeiro de Março fazem parte da Área 02 (Praça XV) do Corredor Cultural. A Lei nº 506 de 17 de janeiro de 1984 cria a Zona Especial do Corredor Cultural, de preservação paisagística e ambiental do Centro da Cidade. Algumas alterações ao longo dos anos foram realizadas no interior e nas fachadas desses sobrados, sobretudo pela necessidade de mudança de uso nesses edifícios. Essa mudança é resultado da progressiva ampliação das atividades comerciais nessa região.

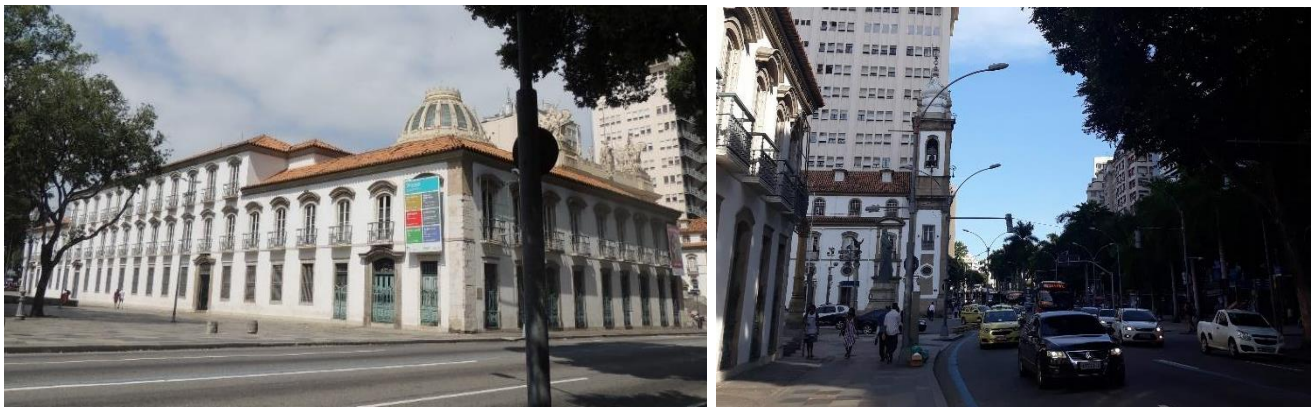


(a) Fachadas dos Sobrados (Autor, 2022).

(b) Fluxo de tráfego na direção dos Sobrados (Autor, 2022).

**Figura 4:** Sobrados.

O edifício de estilo colonial, conhecido como Paço Imperial (Figura 5), foi construído no século XVIII, entre 1738 e 1743, e tem como marco em sua história o fato de ter abrigado pessoas importantes para o país, como reis e imperadores. Por isso, é considerada a mais importante entre as construções civis coloniais do Brasil. Em 1938, foi inscrito nos Livros do Tombo Histórico e de Belas Artes do SPHAN. Em 1982 foi restaurado pelo IPHAN, que usou como referência a configuração que o edifício teve no início do século XIX, quando era Paço Real.



(a) Paço Imperial (Autor, 2022).

(b) Fluxo de tráfego na direção do Paço (Autor, 2022).

**Figura 5:** Paço Imperial.

## 2.5 Aspectos morfológicos

Em relação ao impacto das vibrações, o tipo de solo é um dos fatores que influenciam a forma de propagação e atenuação da energia vibratória. Em solos menos rígidos, há uma menor velocidade de propagação da energia vibratória, que gera uma maior tensão e uma maior vibração induzida na estrutura ou edificação.

Em análises do tipo de solo da área onde se encontra a Rua Primeiro de Março pode-se observar características de restinga, uma região de praia [23]. A topografia da área de recorte para estudo apresenta trechos com inclinação da via entre 0,8 e 2,6%, configurando uma via de tráfego praticamente plana.

## 3. Materiais e métodos

As etapas metodológicas desenvolvidas neste trabalho compreendem as orientações recomendadas pelas normas e pesquisas na área para as observações em campo e os parâmetros utilizados para as medições de vibração. Importante destacar que algumas visitas de campo para medição foram limitadas em função do período de pandemia e da liberação de acesso às edificações.

### 3.1 Observações em campo

Durante as vistas de campo, além da coleta de dados, foi feita uma observação minuciosa do objeto de estudo e como ele se comportou e quais foram suas interações em seu ambiente real. Foram registrados alguns aspectos gerais durante as medições: organização de teste; nome da pessoa responsável; data e hora da medição; condições meteorológicas e temperatura ambiente.

Em relação às fontes de vibração, é necessário observar e tomar nota dos detalhes de acordo com cada tipo de fonte. Para o tráfego de veículos foram registrados os tipos e características dos veículos, velocidade e frequência de passagem, morfologia e condições da via.

No que se refere ao terreno/sítio analisado foram feitos croquis e esboços mostrando o levantamento planialtimétrico do local, fotografias mostrando as posições da fonte e receptor; distâncias horizontais e verticais entre fonte e posição de medição na fachada; direções de medição, outras fontes próximas de vibração. Os detalhes a respeito do tipo de solo também foram registrados, juntamente com as informações coletadas na pesquisa bibliográfica.

### 3.2 Medições de vibração

As vibrações são medidas com o objetivo de avaliar, diagnosticar ou monitorar uma estrutura. De acordo com a ISO 4866 (2010) não se espera que um único sistema de instrumentação atenda a todos os requisitos de frequência e faixa dinâmica para a ampla gama de aplicações para as quais este padrão internacional pode ser usado [24]. O sistema de medição inclui: transdutores; equipamento de condicionamento de sinal; sistema de registro de dados.

As medições de vibração foram realizadas nos anos de 2019 (1ª medição) e 2022 (2ª e 3ª medição). A primeira etapa do trabalho (2019) foi um experimento piloto, que serviu para identificar a área de recorte de estudo, definir os pontos de medição e as etapas seguintes. Devido às limitações da pandemia, as visitas de campo e medições foram concluídas no ano de 2022.

Para vibrações induzidas pelo tráfego de veículos pesados, quanto maior a velocidade do veículo maiores as amplitudes de vibração, seja pelo atrito devido à rugosidade do pavimento, seja pelo impacto em saliências ou buracos no pavimento. Logo, na pandemia, se por um lado houve a diminuição do número de veículos, por outro aumentou a velocidade média de passagem dos mesmos.

O período definido para as medições foi o diurno, em função das atividades comerciais da área de estudo e do maior fluxo de veículos. A 1ª e a 2ª medição foram realizadas durante a semana e a 3ª medição durante o final de semana (domingo), onde há uma diminuição do fluxo de veículos.

As medições foram realizadas na base do edifício, na fachada localizada em frente à fonte de vibração, para definir a entrada de vibração para a construção, de acordo com as recomendações da norma britânica [2]. Para este recorte foram selecionadas três fachadas para análise: Igreja de Santa Cruz dos Militares (01), Sobrados (02) e Paço Imperial (03), localizadas de acordo com o mapa apresentado a seguir (Figura 6):



**Figura 6:** Mapa da Rua Primeiro de Março com as edificações selecionadas e o destaque para as fachadas avaliadas (Autor sobre mapa retirado do ArcGIS, 2022)

As medições de vibração foram realizadas por períodos de 5 minutos com um equipamento da marca DYTRAN, modelo 4400A (Vibration Recorder), composto de acelerômetro triaxial e sistema de gravação de sinais. O acelerômetro triaxial do tipo capacitivo MEM (micro elétrico-mecânico) é responsável por fazer a leitura em três eixos simultaneamente (X, Y e Z) numa faixa de frequências entre 0-1000 Hz. Os acelerômetros foram fixados sobre base magnética, apoiados em superfícies planas e encostados/próximos às fachadas das edificações. Em todas as medições o eixo X ficou perpendicular à fachada e o eixo Y paralelo a mesma.

Como os dados medidos foram de aceleração, foi necessário tratar esses dados em programa adequado (Aq D Analysis 7.0) para obtenção do pico de velocidade de partícula (PVP). O tratamento dos dados foi realizado da seguinte maneira: redução da taxa de aquisição dos sinais; integração dos sinais de aceleração, transformando aceleração em velocidade; cálculo do PVP com a raiz quadrada da soma dos quadrados das velocidades em cada eixo a cada instante de tempo; determinação do valor máximo de PVP.

#### 4. Resultados

Durante as visitas de campo, foi possível avaliar, além do parâmetro quantitativo através das medições de vibração, as interferências e sensações que eram perceptíveis aos pesquisadores durante os períodos de coleta de dados. Em visita realizada no Sobrado nº 16 (loja de uso comercial como Granado Farmácias), foi possível detectar pelo tato a vibração proveniente do tráfego nas esquadrias (estruturas de madeira e vidro) localizadas na fachada da edificação. Para a segurança da loja, em parede de *drywall* localizada próxima à entrada são fixados sensores de presença/movimento, que precisam ser desconectados em função das trepidações que acionam o sensor em todo o tempo. Durante as medições e análises na Igreja de Santa Cruz dos Militares a vibração foi perceptível nas esquadrias (portas) localizadas na lateral da nave da Igreja, durante a passagem de veículos pesados, principalmente ônibus.

Com base nas contagens de veículos e com os dados das linhas de ônibus que passam por esse trecho, o fluxo considerado na Rua Primeiro de Março foi de 25.000 veículos/dia [25]. Ou seja, o núcleo histórico original da cidade foi atravessado por um corredor de transportes.

Em relação às medições de vibração, os valores dos picos de velocidade de partícula e os gráficos foram obtidos integrando os sinais de aceleração capturados pelas medições. A taxa de aquisição das medições foi de 1.600 pontos por segundo. Mas para esta análise os dados captados pelo acelerômetro foram filtrados, resultando em 100 medições por segundo, e considerando os 3 ou 5 primeiros minutos de cada sinal. O valor da velocidade composta foi obtido pela raiz quadrada da soma dos quadrados das velocidades em cada instante de tempo.

As duas primeiras medições foram realizadas no período diurno (comercial) durante a semana. A terceira medição foi realizada durante o dia no final de semana (domingo), em que há a redução do fluxo de veículos e o consequente aumento da velocidade, para fins comparativos.

Considerando o valor limite de 8mm/s recomendado pela norma para todas as frequências na categoria 3, que representam as edificações estudadas,

Em seis das nove medições apresentadas neste trabalho, o maior valor encontrado foi no eixo Z, fator que pode indicar a entrada da vibração na edificação (Tabela 4). Os valores das velocidades compostas obtidas nas fachadas durante o final de semana foram mais altos do que os encontrados nas medições anteriores nas edificações da Igreja de Santa Cruz e nos Sobrados.

**Tabela 4:** Tabela resumo de medições (Autor, 2022)

| Edificação                         | 1ª medição (mm/s) |       |       |              | 2ª medição (mm/s) |       |       |              | 3ª medição (mm/s) |       |       |              |
|------------------------------------|-------------------|-------|-------|--------------|-------------------|-------|-------|--------------|-------------------|-------|-------|--------------|
|                                    | X                 | Y     | Z     | PVP          | X                 | Y     | Z     | PVP          | X                 | Y     | Z     | PVP          |
| Igreja de Santa Cruz dos Militares | 12,16             | 11,06 | 14,58 | <b>15,64</b> | 8,94              | 10,98 | 12,45 | <b>13,74</b> | 17,41             | 10,16 | 15,75 | <b>20,88</b> |
| Sobrados                           | 14,34             | 7,07  | 10,47 | <b>16,14</b> | 10,72             | 10,99 | 12,32 | <b>14,44</b> | 10,01             | 13,01 | 15,72 | <b>17,64</b> |
| Paço Imperial                      | 12,77             | 14,48 | 11,45 | <b>17,95</b> | 13,10             | 14,09 | 14,41 | <b>19,59</b> | 11,01             | 14,67 | 15,34 | <b>17,80</b> |

Observamos que nas medições realizadas durante a semana, com maior fluxo de veículos, os menores valores de PVP (mm/s) composto encontrados nas fachadas foram medidos onde a edificação tem maior

distância da via de tráfego (Tabela 5). Na última medição, durante o final de semana, observamos o cenário contrário, onde a edificação que apresenta maior valor de PVP possui o maior distanciamento da via, o que pode ser proveniente da maior velocidade dos veículos, devido à redução do tráfego no final de semana, ou há a ocorrência de algum evento pontual durante a medição.

**Tabela 5:** Tabela comparativa de PVP composto e distância da via (Autor, 2022)

| Medição   | Edificação                         | PVP composto (mm/s) | Distância via (m) |
|-----------|------------------------------------|---------------------|-------------------|
| 1ª   2019 | Igreja de Santa Cruz dos Militares | 15,64               | 6,5               |
|           | Sobrados                           | 16,14               | 5,5               |
|           | Paço Imperial                      | 17,95               | 4,8               |
| 2ª   2022 | Igreja de Santa Cruz dos Militares | 13,74               | 6,5               |
|           | Sobrados                           | 14,44               | 5,5               |
|           | Paço Imperial                      | 19,59               | 4,8               |
| 3ª   2022 | Igreja de Santa Cruz dos Militares | 20,88               | 6,5               |
|           | Sobrados                           | 17,64               | 5,5               |
|           | Paço Imperial                      | 17,80               | 4,8               |

Em termos de incomodidade, o valor definido pela organização internacional ISO 2631-2 (2003) é de 0,4 mm/s para residências e escritórios durante o período diurno [26], que foi o período analisado. Os resultados mostram que os valores encontrados de velocidade estão muito acima do recomendado, e podem interferir significativamente nas atividades desenvolvidas no interior dessas edificações.

Conclui-se, então, que as fachadas históricas analisadas ao longo da Rua Primeiro de Março estão submetidas a vibrações excessivas, e que comprometem não somente a estrutura e preservação desse patrimônio, como também a plena utilização desses espaços, afetados pelos altos níveis de incomodidade.

Como possibilidades de minimizar os níveis de velocidade apresentados no presente trabalho e o consequente impacto nas edificações, são propostas medidas preventivas e corretivas. As propostas e soluções de projeto são de acordo com aspectos que influenciam os efeitos das vibrações provenientes do tráfego de veículos nas estruturas e edificações. Melhorias relacionadas aos próprios veículos (limitar a carga e a velocidade; regulamento do sistema de suspensão; melhoria na condição dos pneus), nos pavimentos (reparação, renovação ou substituição; utilização do asfalto borracha na superfície das vias de tráfego; isolamento do pavimento de estruturas enterradas; utilização de barreiras para separar a estrada da edificação) e no tratamento do solo (adensamento com aplicação de cal; melhoria do solo nas camadas abaixo da via de tráfego) podem ser boas soluções para reduzir os impactos.

## 5. Considerações finais

A falta de normatização a respeito de vibrações geradas pelo tráfego de veículos e seus efeitos em edificações, no contexto nacional, gerou uma necessidade de se buscar parâmetros para avaliação e controle em referências internacionais. Entretanto, espera-se, que num futuro próximo, possa ser elaborada uma normativa brasileira que atenda essa questão.

Considerado um dos grandes atores no processo de reestruturação das cidades, o sistema viário pode impactar diretamente o patrimônio edificado. O tráfego de veículos, fonte de vibração e ruído pode comprometer a integridade física das construções e, principalmente, a integridade de prédios históricos, considerados sensíveis do ponto de vista estrutural.

Na última década, muitas mudanças urbanísticas ocorreram na cidade do Rio de Janeiro, sobretudo na estrutura viária, como a demolição da Perimetral, a criação do túnel Rio 450 e outras intervenções, e o centro histórico do Rio de Janeiro foi atravessado por um corredor de transportes.

O presente trabalho avaliou o impacto da vibração induzida pelo intenso tráfego de veículos em três edificações históricas localizadas no centro do Rio de Janeiro, obtendo como resultado níveis de PVP maiores dos que os recomendados pela DIN 4150-3, considerada referência internacional para o tema, o que pode comprometer a integridade física das edificações de valor patrimonial e o conforto dos usuários desses espaços. Nesse contexto, é importante que a gestão e o planejamento urbano incluam o entorno de edificações históricas nas medidas de preservação e conservação.

Em relação às estratégias para mitigação dos efeitos das vibrações em edificações, vale ressaltar que muitas medidas para atenuação dos efeitos do tráfego viário nas cidades não são viáveis quando a estrutura urbana já se encontra consolidada, como o aumento da distância entre a via de tráfego (fonte) e a edificação/estrutura (receptor), por exemplo. Todavia, existem possibilidades para mitigação desse impacto em estruturas existentes e diretrizes de projeto para novas construções.

## 6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Referências

1. GEVÚ, Nayara Vasconcelos. *A influência da vibração gerada pelo tráfego de veículos sobre o Patrimônio Cultural Edificado*. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.xhtml?popu p=true&id\\_trabalho=11898975](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.xhtml?popu p=true&id_trabalho=11898975)
2. BSI BRITISH STANDARDS. *BS 7385-2 - Evaluation and measurement for vibration in buildings - Part 2: Guide to damage levels from groundborne vibration*. England, 1993.
3. UNI. *UNI 9916 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici*. Italia, 2004.
4. NELSON, John D.; VIRANUVUT, Suvit. *Traffic induced vibrations at Wat Po, Bangkok*. Geotechnical Engineering, v. 4, p. 15–30, 1973.
5. KARANTONI, Fillitsa V.; BOUCKOVALAS, George. *Description and Analysis of Building Damage, Due to Pyrgos, Greece Earthquake*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 16, n. 2, p. 141–150, 1997.
6. CLEMENTE, Paolo; RINALDIS, Dario. *Protection of a monumental building against traffic-induced vibrations*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 17, n. 5, p. 289–296, 1998.
7. SANTOS, Luís Conde; VALÉRIO, Paulo. *Monitorização de Vibrações em Edifícios e Monumentos*. 2a Conferência Nacional de Avaliação de Impactes. Oeiras, 2006.
8. RESENDE, Luiz Mauro de. *Análise do risco de danos por vibração mecânica nos monumentos setecentistas do Caminho Tronco de Ouro Preto*. Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.
9. MONTI, Giorgio et al. *Effects of ambient vibrations on heritage buildings: overview and wireless dynamic monitoring application*. In: The 3rd International Workshop, Dynamic Interaction between Soil, Monuments and Build Environment, 12-13 December 2013. Roma, 2013.
10. MIRANDA, Keilla; ROCHA, Isabel; NIEMEYER, Maria Lygia Alves de. *Impacto da Vibração gerada pelo Tráfego Rodoviário sobre Sítios Históricos: Subsídios para a Portaria 12/86 do IPHAN, Vassouras/RJ*. 4o Colóquio Ibero-Americano Paisagem Cultural, Patrimônio e Projeto. Belo Horizonte, 2016.
11. ALMEIDA, Renata Hermann De; DORNELAS, Angélica Maria Fonseca. *O impacto do tráfego viário em sítios históricos urbanos: Avaliação em Santa Leopoldina - ES*. SBE16 Brazil & Portugal. p. 1231–1240, 2016.
12. DORNELAS, Angélica Maria Fonseca. *Degradação por vibração em alvenaria de tijolo mecânico: o impacto do tráfego viário no Sítio Histórico de Santa Leopoldina, ES*. Universidade Federal do Espírito Santo, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173>
13. GEVÚ, Nayara Vasconcelos. *Projeto de intervenção para o Pavilhão Arthur Neiva/Fiocruz: estudo da vibração e do ruído rodoviário como fator de dano em bem moderno tombado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro (Dissertação de Mestrado), 2017.
14. FORMA, Loïc; WILKIE-CHANCELLIER, Nicolas; CONTE, Sandie Le; BOUTIN, Henri; JOSSIC, Marguerite. *Experimental design of an active vibration control device used to protect cultural heritage objects*. Proceedings of the

- 
- Internoise 2022. Glasgow, 2022.
15. BACHMANN, Hugo et al. *Vibration problems in structures – practical guidelines: Review*. Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser, 1995.
  16. ATTEWELL, P. B.; SELBY, A. R.; O'DONNELL, L. *Estimation of Ground Vibration Form Driving Piling Based on Statistical Analyses of Recorded Data*. Geotechnical and Geological Engineering, v. 10, 1992.
  17. BRITO, Luiz Antonio. *Avaliação das principais fontes de vibração no meio urbano*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 233–249, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000400016>
  18. DEUTSCHE NORM. *DIN 4150-3 - Structural Vibration. Part 3: Effects of vibration on structures*. Germany, 1999.
  19. BACCI, Denise de La Corte et al. *Principais normas e recomendações existentes para o controle de vibrações provocadas pelo uso de explosivos em áreas urbanas - Parte I*. Rem: Revista Escola de Minas, v. 56, n. 1, p. 51–57, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/HjpZhK9BdwdPLryQYVKgxgP/?format=pdf&lang=pt>
  20. THOLÉN, Olle. *Markvibrationer orsakade av vägtrafik*. Stockholm, 1974.
  21. MHANNA, Mohannad; SADEK, Marwan; SHAHROUR, Isam. *Numerical modeling of traffic-induced ground vibration*. Computers and Geotechnics, v. 39, p. 116–123, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2011.07.005>
  22. BRITO, L. A. P. F. de; MANFREDINI, G. *Avaliação dos Efeitos de Obstáculos e Qualidade do Pavimento na Vibração Ambiental*. FIA 2020/22. XII Congresso/Congreso Iberoamericano de Acústica, XXIX Encontro da Sociedade Brasileira e Acústica – SOBRAC. Florianópolis, 2022.
  23. AMADOR, Elmo da Silva. *Baía de Guanabara – Ocupação histórica e avaliação ambiental*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1997.
  24. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 4866 - Mechanical vibration and shock - Vibration of fixed structures - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures*. Switzerland: 2010.
  25. BARROS, Felipe; GEVÚ, Nayara; NIEMEYER, M. Lygia. *Ruído de Tráfego no Centro Histórico do Rio de Janeiro: A Rua Primeiro de Março*. XV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. João Pessoa, 2019.
  26. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 2631-2 - Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Vibration in buildings (1Hz to 80Hz)*. Switzerland, 2003.