AVALIAÇÃO DE VIBRAÇÃO DECORRENTE DE SONS EM EDIFICAÇÕES ANTIGAS NO CENTRO HISTÓRICO DE SALVADOR

J. E. SANTOS, L. FRÓIS, R. MUÑOZ

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo medir vibrações em edificações antigas no Centro Histórico de Salvador decorrentes de altos sons emitidos das manifestações culturais que lá ocorrem e avaliar se os valores obtidos estão dentro dos parâmetros aceitáveis pela normativa internacional, pois sabe-se que as vibrações podem potencializar os danos estruturais já presentes em edifícios históricos. Para a obtenção dos resultados, foi realizado um programa experimental com a instalação de acelerômetros em pisos e paredes de construções públicas e privadas. Observou-se que, em alguns casos, os valores das medições ultrapassaram o limite de velocidade aceitável para edifícios sensíveis à vibração. Por se tratar de um estudo inédito, espera-se que o mesmo contribua para a preservação do vasto patrimônio nacional edificado.

Palavras chave: Centro Histórico de Salvador; Danos; Som; Vibrações.

1. INTRODUÇÃO

Salvador, primeira capital do Brasil, conta com um vasto patrimônio histórico, artístico e cultural conhecido como um dos mais relevantes exemplares do urbanismo ultramarino português. Possui diversas edificações, entre as quais destacam-se: sobrados, igrejas, fortificações, entre outros monumentos, localizadas no Centro Histórico, que, em 1946, passou integrar a Lista do Patrimônio Mundial pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura). Apesar da grande importância do patrimônio edificado, algumas construções apresentam degradação estrutural devido à ação do tempo, às imposições modernas e à falta de manutenção.

Dentre os danos estruturais mais frequentes, destacam-se lesões em forma de trincas e fissuras em paredes e fundações, oriundas do efeito individual ou associado de diversas ações: recalque diferencial, vibrações, sobrecargas, entre outras. As anomalias com origem nas vibrações mecânicas são mais intensas em cidades históricas devido às características das suas edificações e ao tipo de pavimentação de suas vias. Estas construções são mais sensíveis às vibrações provocadas pelo tráfego e pelos altos sons emitidos em manifestações culturais.

O presente trabalho tem como objetivo medir vibrações, em termos de velocidade, decorrentes de sons gerados durante a comemoração do carnaval, em edificações públicas e privadas localizadas no Centro Histórico de Salvador, e avaliar se os valores estão dentro dos parâmetros aceitáveis para edifícios antigos, de acordo com a normativa internacional. Sabe-se que as vibrações podem causar e, principalmente, potencializar danos existentes, levando a edificação ao risco de colapso.

Para a obtenção dos resultados, foi realizado um programa experimental que contemplou medições de vibrações por meio da instalação de acelerômetros em pisos e paredes de construções históricas. Os procedimentos metodológicos compreenderam a realização de ampla revisão bibliográfica sobre o tema, a execução de ensaios e a análise comparativa dos resultados obtidos com o disposto na normativa internacional.

Por se tratar de um estudo inédito, espera-se que o mesmo contribua para a implementação de medidas que minimizem os danos causados aos edifícios pelas excessivas vibrações; para a ampliação do conhecimento tecnológico sobre o tema, e, assim, para o desenvolvimento da Ciência da Conservação e do Restauro e para a preservação do vasto patrimônio nacional edificado.

2. VIBRAÇÕES OCASIONADAS POR ALTOS SONS EM EDIFICAÇÕES ANTIGAS

As vibrações decorrentes dos altos sons e o seu efeito em edifícios históricos tornaram-se assunto de preocupação nas últimas décadas, em diversos países (Azevedo e Patrício, 2003). Elas podem gerar danos estruturais em algumas situações e apenas incomodidade em outras, dependendo de alguns fatores, tais como: à intensidade da vibração e o padrão estrutural das edificações.

Segundo Nakaguma e Neto (2005), nos edifícios modernos o efeito das vibrações não se manifesta de forma acentuada, uma vez que o sistema construtivo utiliza materiais e técnicas bastante distintas, com estrutura usualmente travada. Já nos edifícios antigos, o efeito das vibrações mecânicas causa danos mais evidentes. O travamento da estrutura não é tão efetivo quanto nas estruturas novas e os materiais utilizados não resistem bem aos esforços de tração impostos pelo movimento vibratório.

Para entender o que as vibrações induzidas pelo tráfego e pelos altos sons causam nos edifícios, e, principalmente, nos históricos, Hunaidi (2000) efetuou estudo para o *Institute for Research in Construction* da Austrália sobre a sua influência e chegou à conclusão que os tremores provenientes da fonte dependem de diversos fatores: conservação do pavimento, velocidade de circulação, tipo e estado da suspensão do veículo, condições ambientais, proximidade com a fonte emissora do ruído, entre outros, e podem afetar os edifícios causando fissuras e ainda descolamento do reboco (quando há níveis elevados de vibrações).

No Centro Histórico de Salvador, ocorrem diversas manifestações culturais; entre elas, destacam-se: carnaval, comemoração de São João, ensaios de blocos, e outras. O carnaval de Salvador é uma festa popular de rua, organizada anualmente, que começa seis dias antes da quarta-feira de cinzas e é considerado como a festa de maior destaque de Salvador e da Bahia.

O carnaval em Salvador ocorre em sete circuitos e doze bairros soteropolitanos com apresentações musicais e desfiles de blocos carnavalescos, além de música eletrônica e palcos de rock. Os três principais circuitos são: Dodô (Barra–Ondina), Osmar (Campo Grande–Avenida Sete), mostrados na Figura 1, e Batatinha (Largo do Pelourinho–Terreiro de Jesus, Centro Histórico), destinado, principalmente, aos foliões que preferem brincar o carnaval ao som de fanfarras, blocos e marchinhas, apresentado na Figura 2, juntamente com os locais (praças ou largos) onde são instalados palcos para shows (Figuras 3 e 4).

Figura 1. Circuitos de carnaval Dodô (Barra/Ondina), Osmar ou Avenida (Centro).

Fonte: Site http://www.carnaxe.com.br/circuito/mapa_circuitos.htm. Acesso em: 15 de jul. de 2019.

Figura 2. Circuito Batatinha (cor azul).

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019), a partir da base de dados do SICARde 2015.

Figura 3. Público em frente ao edifício da Fundação Jorge Amado.

Fonte: Acervo das autoras (2019).

Figura 4. Palco em frente ao edifício da Fundação Jorge Amado.

Fonte: Acervo das autoras (2019).

Para medir vibrações, são utilizados acelerômetros que aferem a aceleração dinâmica de um dispositivo físico na forma de tensão. A maior parte desses equipamentos utiliza o efeito piezoelétrico, que ocorre quando uma tensão é gerada em certos tipos de cristais ao sofrerem esforço. A aceleração da estrutura de teste é transmitida a uma massa sísmica interna do acelerômetro que gera uma força proporcional em um cristal piezoelétrico. Esse esforço externo no cristal então gera uma carga elétrica de alta impedância proporcional à força aplicada e, assim, proporcional à aceleração.

Para as medições de vibração, foram utilizados os seguintes equipamentos, adquiridos pelo NTPR - Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração, laboratório ligado à Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia: acelerômetros piezoelétricos (triaxial, monoaxial e sísmico), analisador digital de espectros NetdB 10-ch, software de aquisição de dados, computador e cabos coaxiais para interligação dos equipamentos.

Foram selecionadas sete edificações públicas e privadas para a realização desse estudo, escolhidas pela disponibilidade de acesso e proximidade de locais que emitsem altos sons durante o carnaval, conforme Figura 5.

Figura 5. Edificações estudadas para medição de vibrações decorrentes de sons.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019), a partir da base de dados do SICAR de 2015.

Todas as edificações estudadas possuem como técnica construtiva alvenaria de pedra argamassada e de tijolo. Como tantos outros monumentos, a maioria das edificações padece, através do tempo, com a falta de manutenção adequada e evidencia problemas estruturais, tais como: fissuras, trincas, descolamento do reboco, entre outros danos.

Nas edificações estudadas, os acelerômetros foram dispostos, de acordo com o preconizado nas normas UNI 9916 (2004) e DIN 45669-2 (1995), da seguinte forma: a) nos pavimentos térreos foram colocados três acelerômetros monoaxiais (M) e um sísmico (S), além de um triaxial (T) nas paredes das edificações, a 0,40 metros de altura do piso; b) nos pavimentos superiores, foi posicionado, além dos acelerômetros monoaxiais e sísmico, um acelerômetro triaxial (T) nas paredes das edificações a uma altura dada pelo cruzamento das diagonais – centro geométrico da alvenaria.

Foram realizadas medições nos pavimentos térreo e superior, em concordância com autores que afirmam que os níveis de pico de vibrações ocorrem nos pavimentos superiores e nas alvenarias frontais, e não nas fundações (Kanno, 2008).

A Tabela 1 apresenta as edificações de estudo, dias, horários e razão das medições realizadas.

Tabela 1. Edificações, dias, horários e razão das medições realizadas.

Edificações de estudo	Dias	Horários	Razão
Casa na Rua do Saldanha, nº 03, Praça da Sé	28/02/2019	16h às 18h	Próxima ao Circuito Batatinha
Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos	05/03/2019	17h às 22h	em frente ao palco principal
Faculdade de Medicina da Bahia	28/02/2019	18h30min às 22h	Próxima ao Circuito Batatinha
Casa no Largo do Cruzeiro de São Francisco, nº 14, Pelourinho	03/03/2019	16h às 23h	próxima ao Circuito Batatinha, onde marchinhas passam na frente
Casa na Ladeira da Barroquinha, nº 09, Centro Histórico	01/03/2019	15h às 18h	Próxima ao Circuito Osmar
Fundação Casa de Jorge Amado	02/03/2019	16h às 22h	em frente ao palco principal
Casa no Largo Santo Antônio Além do Carmo, nº 01	26/02/2019	17h às 23h	próxima ao circuito onde ocorrem as manifestações culturais

Fonte: Acervo das autoras (2019).

3. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

No Brasil, o fenômeno da vibração em estruturas ainda não conta com normas específicas que tratem do tema e, portanto, na sua ausência, serão usadas, neste trabalho, normativas internacionais. As normas mais relevantes, que tratam do nível admissível de vibração para edifícios antigos são: DIN 4150 (1999); BS 7385(1990); UNI 9916 (2004) e a NP 2074(1983).

A referência internacional para avaliação dos efeitos da vibração nos edifícios é a norma alemã, DIN 4150 (1999), que define três classes de edificações: edifícios industriais; habitações; monumentos e construções delicadas. Os valores de velocidade de vibração de partícula variam de 3 mm/s, no caso de monumentos e construções delicadas com frequências inferiores a 10 Hz; até 50 mm/s, no caso de estruturas industriais com frequência entre 50-100 Hz. Esses dados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores admitidos pela norma alemã DIN 4150-3 para danos em edifícios.

Tipos de Estrutura	Fundação			Andar mais alto dos edifícios
	Frequência (Hz)			Qualquer frequência
	<10	10-50	50-100	
Industrial	20mm/s	20-40mm/s	40-50mm/s	40mm/s
Habitações	5mm/s	5-15mm/s	15-20mm/s	15mm/s
Edifícios Delicados	3mm/s	3-8mm/s	8-10mm/s	8mm/s

Fonte: Adaptado da DIN 4150-3 (1999).

De acordo com a Tabela 2, a velocidade de pico a ser utilizada como parâmetro de comparação no caso em estudo é de 8 mm/s. Conforme Chaves et.al. (2008), valores medidos abaixo dos limites especificados na Tabela 2 são considerados não danosos às estruturas civis.

A norma inglesa BS 7385 (1990) detalha o posicionamento dos aparelhos que medem a vibração nos edifícios, propondo a localização destes na fundação, no encontro da diagonal dos pisos e no ponto médio da parede que se irá medir. Nesta parede, a disposição dos acelerômetros nos pavimentos térreos não pode exceder 50 cm de altura. Quando a medição for efetuada nos pavimentos superiores, sugere-se o posicionamento dos acelerômetros nas diagonais das paredes e dos pisos. A norma considera pouca probabilidade de danos quando se verificarem valores de velocidade de pico inferiores a 12,5 mm/s.

A UNI 9916 (2004) estabelece parâmetros de medição. Assim como a norma alemã, propõe a verificação da resultante da velocidade nos três eixos principais e sugere o posicionamento dos aparelhos baseado na altura do edifício. Para prédios com menos de quatro pavimentos, estabelece-se a disposição dos acelerômetros na fundação e pavimentos superiores, enquanto que para construções mais altas propõe-se a verificação nos andares intermediários.

A NP 2074 (1983) só considera frequência de 3 Hz a 60 Hz. Essa norma se diferencia das outras por determinar o solo como fator influente para a definição de valores limites de vibração, que são estabelecidos de acordo com as características das condições da fundação, do tipo da construção e das solicitações dinâmicas existentes. A norma despreza o parâmetro de frequência ondulatoria, considerado necessário no contexto da maioria dos critérios, vigentes em nível internacional.

No presente estudo, as normas DIN 4150 (1999) e BS 7385 (1990) permitiram a seleção do método apropriado de medição, de tratamento de dados e de avaliação dos fenômenos vibratórios produzidos nos edifícios; e as normas UNI 9916 (2004) e NP 2074 (1983) foram utilizadas para definir o posicionamento da instalação.

4. RESULTADOS

O estudo compreendeu a medição de velocidades máxima ou de pico, determinada em três direções - longitudinal, vertical e transversal, com o uso de acelerômetros, nos pisos e paredes das edificações.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das velocidades máximas obtidas de todas as edificações estudadas, de acordo com o equipamento e o local onde foi efetuada a medição. Consta ainda nesta tabela, a velocidade admissível, segundo a norma alemã DIN 4150 (1999).

Tabela 3. Valores de velocidade máxima de vibração.

Edificações	Velocidades máximas (mm/s) medidas próximas às ruas		Velocidade admissível – DIN 4150 (mm/s)
	Pavimento superior	Térreo	
Casa na Rua do Saldanha, nº 03, Praça da Sé	-	1,9	8,0
Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos	8,6	-	
Faculdade de Medicina da Bahia	3,7	-	
Casa no Largo do Cruzeiro de São Francisco, nº 14, Pelourinho	9,1	-	
Casa na Ladeira da Barroquinha, nº 09, Centro Histórico	1,2	-	
Fundação Casa de Jorge Amado	6,3	-	
Casa no Largo Santo Antônio Além do Carmo, nº 01	-	5,4	

Fonte: Acervo das autoras (2019).

Conforme a Tabela 3, a casa no Largo do Cruzeiro de São Francisco e a Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos ultrapassaram a velocidade permitida pela DIN 4150 (1999), obtendo respectivamente 9,1 mm/s e aproximadamente 8,6 mm/s, para edifícios sensíveis a vibração. A edificação localizada no Largo do Cruzeiro de São Francisco está próxima ao Circuito Batatinha, onde passam marchinhas cujos tambores fizeram com que se elevasse o nível de vibração. Na Igreja de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos também foi ultrapassado o limite admissível. Neste caso, verificou-se que o palco de carnaval estava situado na frente da edificação, elevando, assim, os níveis de vibrações. Nas outras edificações, os resultados foram abaixo de 8,0 mm/s.

5. CONCLUSÃO

A preocupação com a preservação das edificações localizadas no Centro Histórico de Salvador, de grande valor histórico, artístico e cultural, orientou os estudos para avaliar a influência de efeitos de vibrações decorrentes dos altos sons.

As medições foram realizadas levando em consideração a proximidade com os eventos festivos, idade da edificação, sistema construtivo e estado de conservação. Tiveram como objetivo a análise da influência da vibração ocasionada por altos sons na potencialização das fissuras existentes nas edificações. Apenas dois valores ultrapassaram os limites de velocidade estabelecidos pela DIN 4150 (1999). De forma geral, as vibrações produzidas não são, assim, as principais causas das fissuras existentes nas edificações, logo podem ser consideradas como não danosas às estruturas.

Conclui-se, então, que não sendo os altos níveis de sons e ruídos a causa da degradação, deve-se realizar diagnóstico mais detalhado das edificações estudadas para identificar as causas dos danos, que podem ser potencializados pelas vibrações. Para evitar que futuramente essas vibrações ocasionadas por altos sons venham a potencializar ou a ocasionar danos às edificações localizadas no Centro Histórico de Salvador, sugere-se a mudança de localização de palcos para fora da área limite, objetivando a preservação do vasto patrimônio nacional.

6. AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a todos os proprietários e responsáveis das edificações, objeto de estudo da presente pesquisa. Agradecem também ao NTPR - Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração), laboratório da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia que cedeu os equipamentos utilizados nas medições.

7. REFERÊNCIAS

- Azevedo, F. S.; Patrício, J. (2003). *Crêterios de Danos e de Incomodidade no Domínio das Vibrações Ambientais*. Ingenium – Revista da Ordem dos Engenheiros- II série, nº 72.
- British Standard (1993). *BS-7385- Parte 1: Evaluation and measurement for vibration in buildings. Guide to measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings*.
- British Standard. (1990). *ISO 4866: Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measure ment of vibration and evaluation of their effect on building*. Reino Unido.
- Carnaval de Salvador. *Programação Circuito Batatinha*. Disponível em: <http://carnavalsalvadorbahia.com.br/circuito-batatinha-pelourinho>. Acesso em: 12 de jul., 2019.
- Chaves, G. (2008). “*Contribuição à Análise de Impactos de Linhas de Transporte de Passageiros sobre Trilhos em Edificações Lindeiras*”. Monografia CBTU, Rio de Janeiro.
- Deutsche Norm. (1999). *DIN 4150-3: Vibration in buildings, effect in structures*. Berlin.
- Deutsche Norm. (1995). *DIN 45669-2: Measurement of vibration immission - Part 2*. Berlin.

- Ente Nazionale Italiano di Unificazione. (2004). *UNI 9916: Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazione sugli edifici*. Itália.
- Hunaidi, O. (2000). *Traffic Vibrations in Buildings*. Disponível em: <https://www.nrc-cnrc.gc.ca/ctu-sc/files/doc/ctu-sc/ctu-n39_eng.pdf> Acesso em: 11 jan. 2019.
- Kanno, S. (2008), “*Metodologia de avaliação dos impactos dos transportes urbanos em áreas de preservação histórica*”. Dissertação (mestrado) - Universidade de Uberlândia, p. 102.
- Mapas dos Circuitos*. Disponível em:< http://www.carnaxe.com.br/circuito/mapa_circuitos.htm>. Acesso em: 12 jul. 2019.
- Mota, S. (1999). *Introdução à Engenharia Ambiental*. Rio de Janeiro: ABES.
- Nakaguma, R. K.; Neto, A. P. (2005). *Vibrações em estruturas*. Técnica. número 105, dez. Disponível em:<http://www.piniweb.com>. Acesso em: 9 de mar., 2019.
- Norma Portuguesa. (1983). *NP 2074: Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares*. Portugal.
- Ohrstrom, E. et al. (2005), *Effects of simultaneous exposure to noise from road and railway traffic*. In: The 2005 International Congress and Exposition on Noise Control Engineering – Inter-Noise, Rio de Janeiro.
- Santos, V. S. (2004). “*Gestão da Poluição Sonora provocada pelo trânsito urbano no parque do Dique do Tororó utilizando ferramentas de GIS para tratamento da componente espacial*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia UFBA, Salvador.