



56º Congresso Brasileiro do Concreto



Mitigação de vibrações induzidas por tráfego ferroviário em túneis. Soluções através de lajes flutuantes

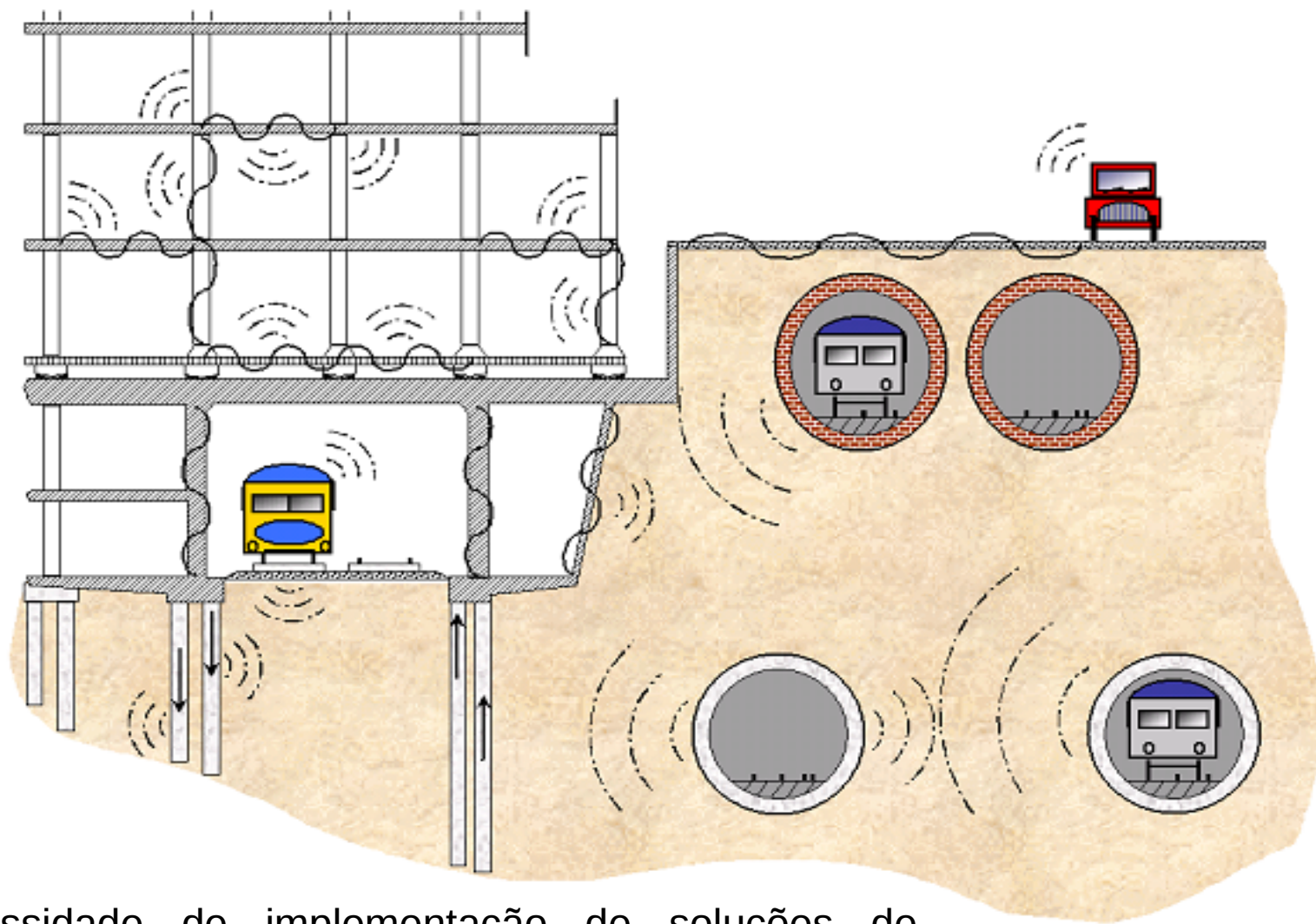
P. Lopes, P. Alves Costa, R. Calçada & A. S. Cardoso

IBRACON 2014 | Natal Brasil

Índice

1. Motivação
2. Modelo numérico
3. Exemplo de aplicação
4. Resultados e discussão
5. Conclusões

1. Motivação



Necessidade de implementação de soluções de mitigação eficientes

1. Motivação

Subway vibrations keeping residents up at night

TTC hires consultants to solve escalating issue

Bloor West Villager

By  Lisa Rainford

Dogs bark; dishes rattle; houses shake and their owners are losing sleep.

A growing number of residents living along the Bloor subway line between Royal York and Keele stations are being disrupted by the vibrations of the trains. It's a problem that's been escalating over the past two years, according to Mountview Avenue resident Julie Thompson, one of the residents who's leading the charge to get the problem remedied by the TTC.

"My house vibrates every five minutes. It shakes. It's like the TTC is an intruder in my house every five minutes," Thompson told The Villager. "When it first started, it interrupted us a lot. My dog would start barking."

1. Motivação

Mitigação ao nível do receptor



Solução dispendiosa
Aplicação complexa
em edificações
existentes



Isolamento de base
de edifícios

1. Motivação

Mitigação na fonte



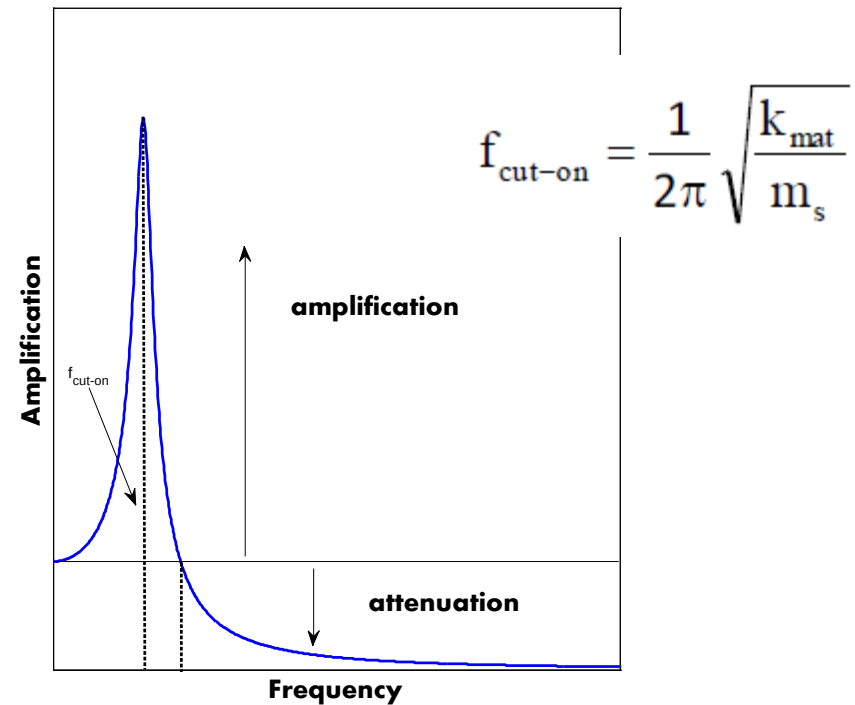
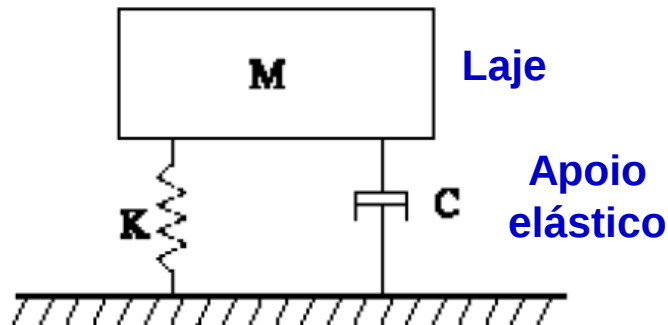
Aplicação intensiva em
túneis ferroviários



Qual a eficiência desta solução na
mitigação de vibrações no interior
de edifícios?

1. Motivação

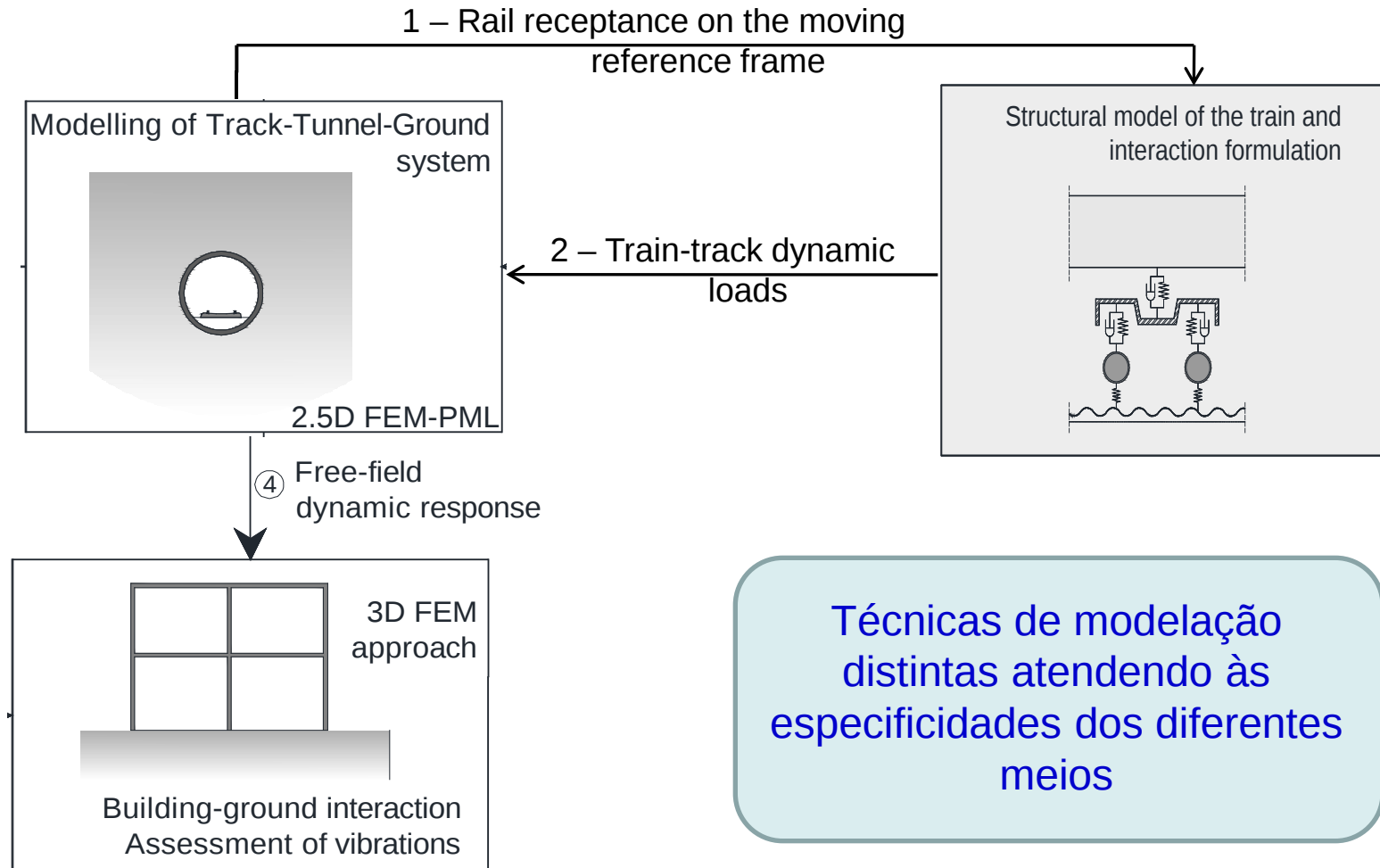
Soluções de laje flutuante – conceito básico



Scenario	$f_{\text{cut-on}}$ (Hz)
Softer mat	18.4
Intermediate mat	35.2
Stiffer mat	47.9

2. Estratégia de modelação numérica

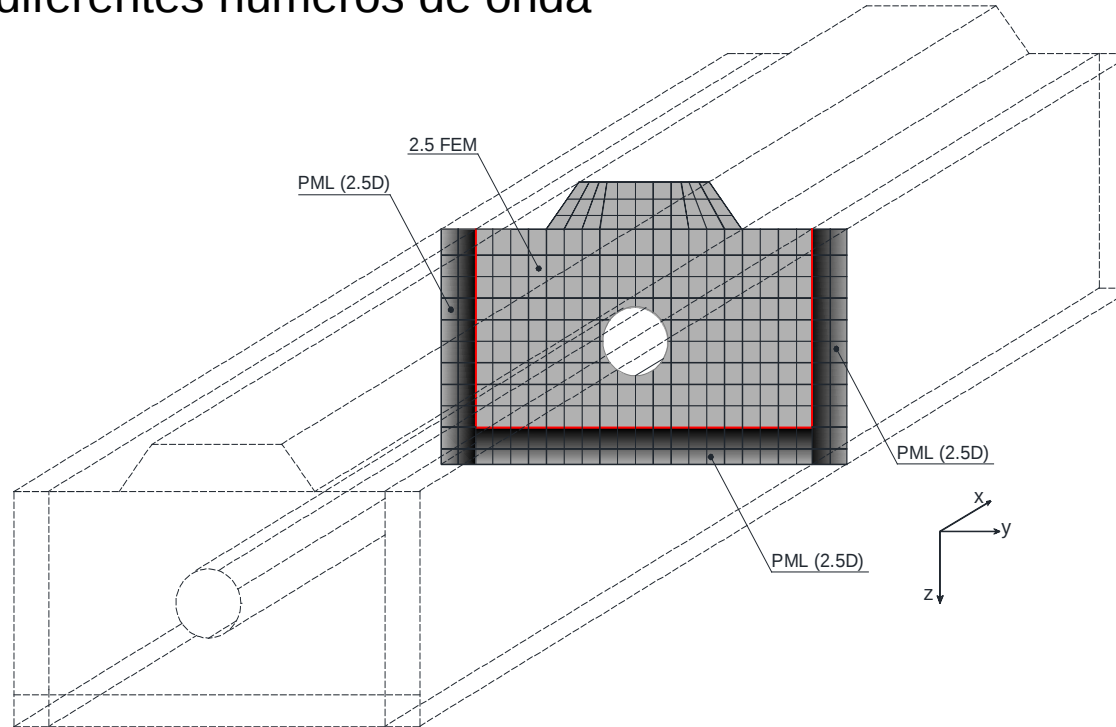
Descrição geral



2. Estratégia de modelação numérica

Sistema via-túnel-macizo – Abordagem 2.5D FEM-PML

A resposta tridimensional é obtida pela sobreposição de diversas soluções 2.5D para diferentes números de onda



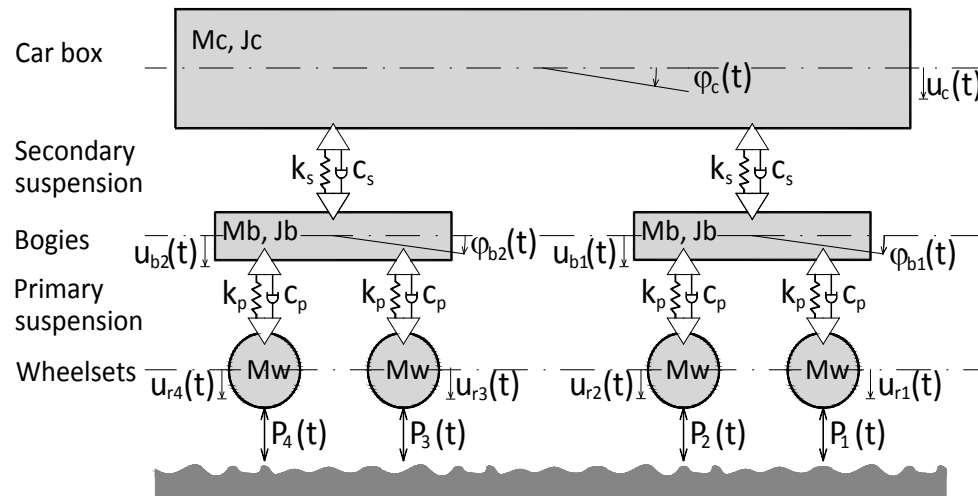
Lopes, P., et al., *Modeling of infinite structures by 2.5D FEM-PML. Application to the simulation of vibrations induced in tunnels*, in *Railways 2012. The First International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance*, J. Pombo, Editor. 2012: Tenerife, Canarias.

Patrícia Lopes, Pedro Alves Costa, Rui Calçada, António Silva Cardoso . [Numerical Modeling of vibrations induced in tunnels: a 2.5D FEM-PML approach](#) in *Traffic Induced Environmental Vibrations and Controls: Theory and Application*, pp.133-167, 2013

2. Estratégia de modelação numérica

Modelação do veículo

A dinâmica do veículo é atendida através de um modelo de corpos rígidos bidimensional, onde apenas os movimentos verticais são considerados

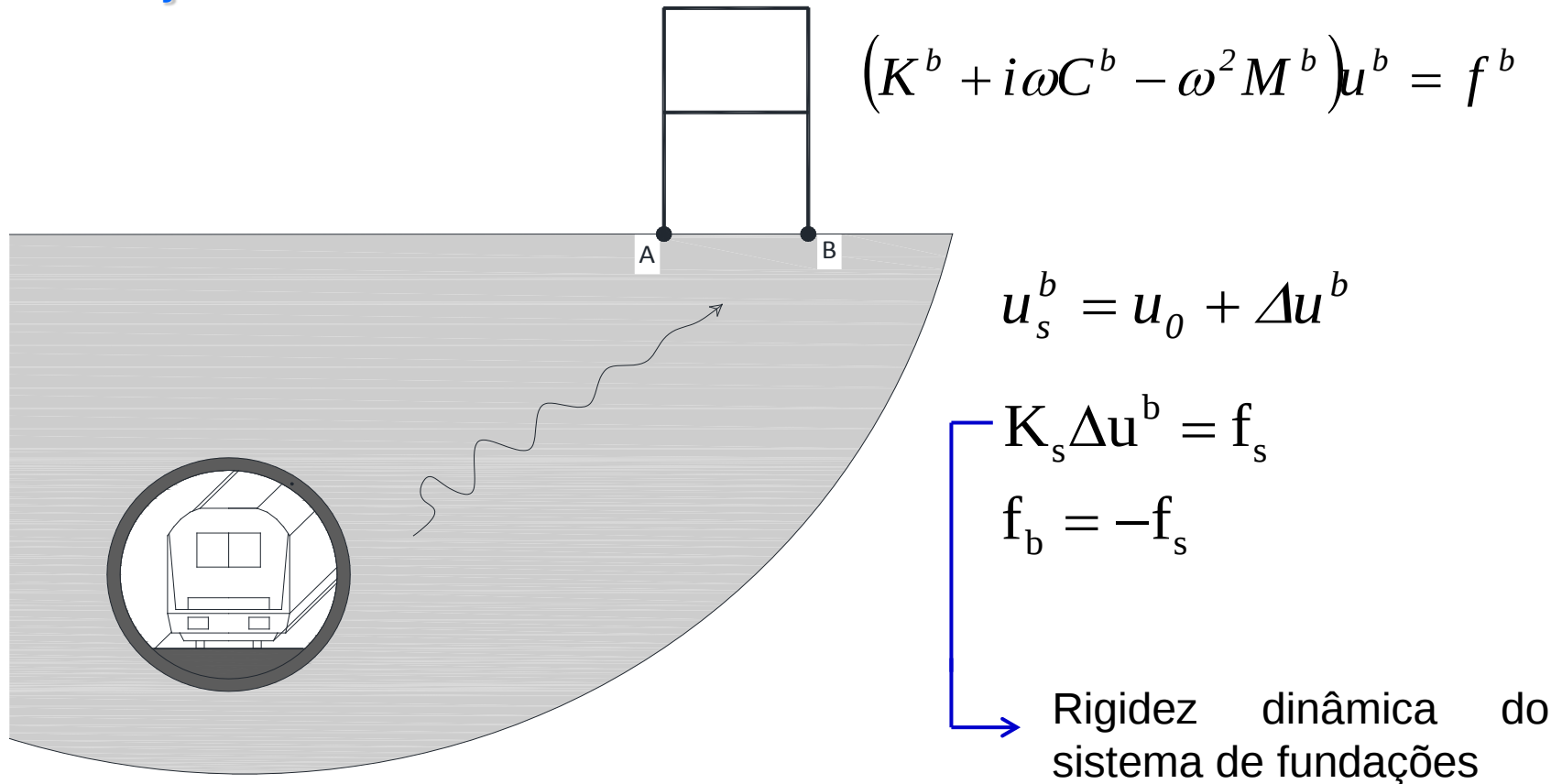


Alves Costa, P., R. Calçada, and A. Cardoso, *Influence of train dynamic modelling strategy on the prediction of track-ground vibrations induced by railway traffic*. Journal of Rail and Rapid Transit, 2012. DOI: 10.1177/0954409711433686.

Alves Costa, P., R. Calçada, and A. Cardoso, *Track-ground vibrations induced by railway traffic: In-situ measurements and validation of a 2.5D FEM-BEM model*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2012. 32: p. 111-128.

2. Estratégia de modelação numérica

Interacção solo-estrutura

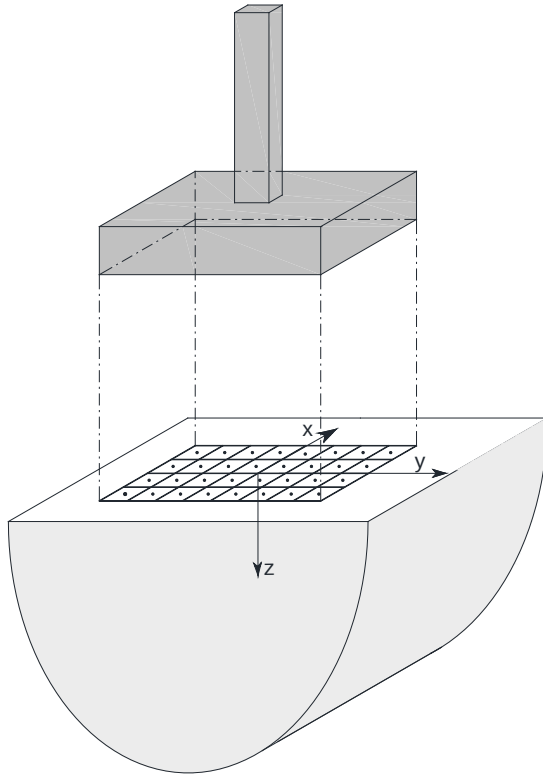


Patrícia Lopes, Pedro Alves Costa, Miguel Ferraz, Rui Calçada, António Silva Cardoso, [Numerical modelling of vibrations induced by railway traffic in tunnels: from the source to the nearby buildings](#). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2014 (doi: 10.1016/j.soildyn.2014.02.013.)

Mohammed Hussein, Hugh Hunt, Kisty Kuo, Pedro Alves Costa, João Barbosa. [The use of sub-modelling technique to calculate vibration in buildings from underground railways](#). Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2014

2. Estratégia de modelação numérica

Interacção solo-estrutura



Condensação matricial da rigidez dinâmica das fundações:

$$K_s = R G^{-1} R^T$$

Sistema de equações global:

$$\begin{bmatrix} K^{bb} & K^{bs} \\ K^{bs} & K^{bb} + K_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u^b \\ \Delta u^b \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} K^{bb} & K^{bs} \\ K^{bs} & K^{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ u_0 \end{bmatrix}$$

Matriz de rigidez dinâmica
solo-estrutura

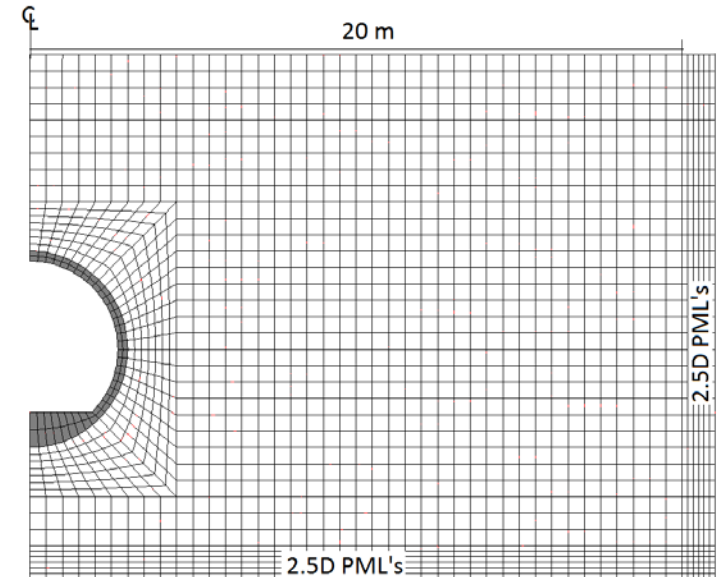
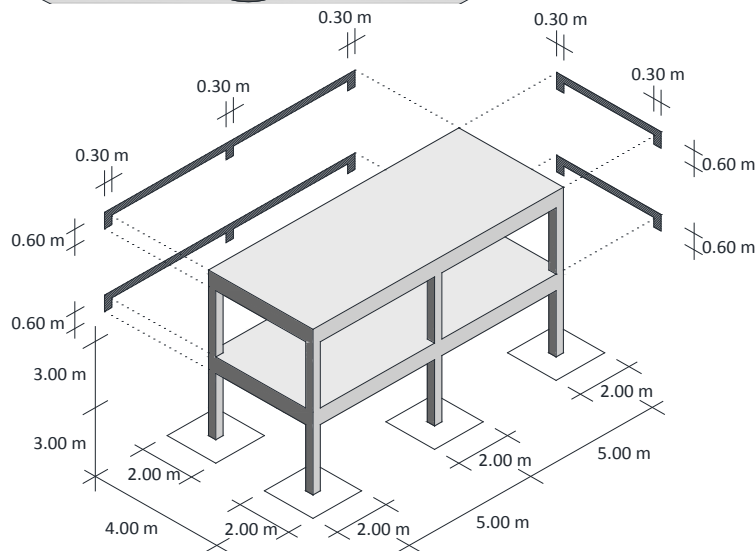
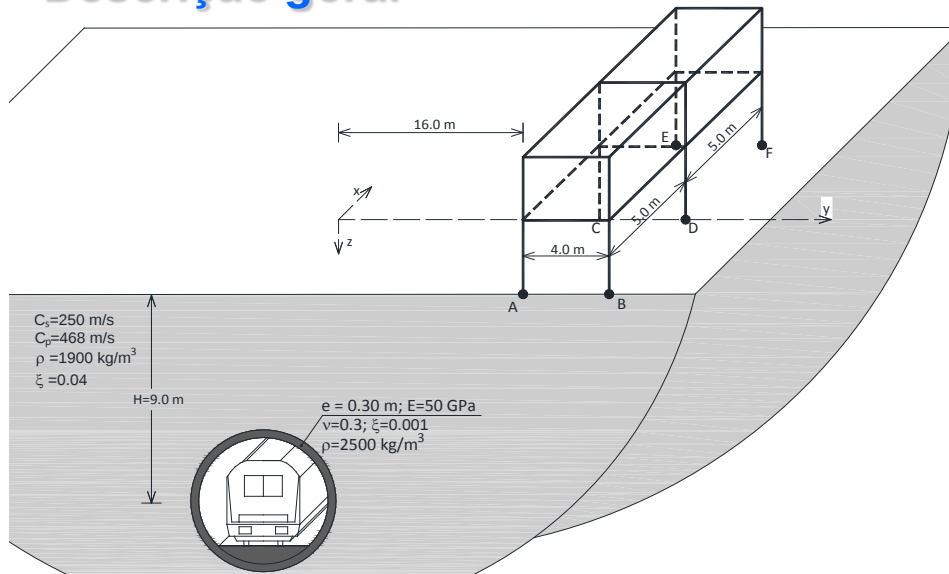
Rigidez dinâmica da
estrutura

Lopes, P., P. Alves Costa, et al. (2013). An efficient numerical model for the simulation of vibrations induced by railway traffic in tunnels. ISEV 2013 - International Symposium on Environmental Vibrations. Shanghai, China: 105-118.

3. Exemplo de aplicação

3. Exemplo de aplicação

Descrição geral



Comboio: Alfa-Pendular, $c=40 \text{ m/s}$
Via em laje de betão armado contínua

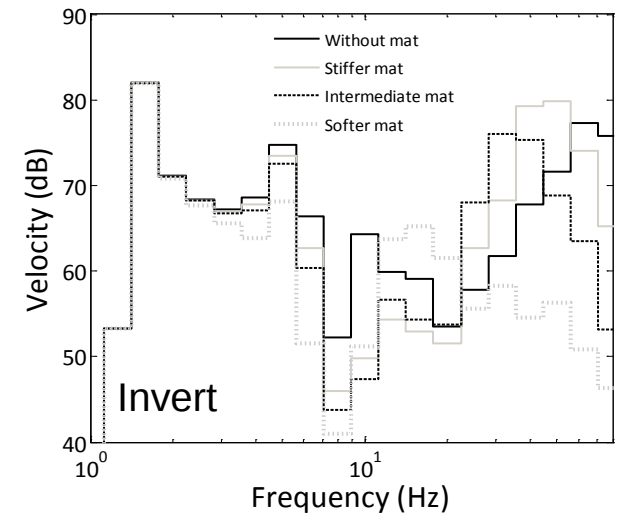
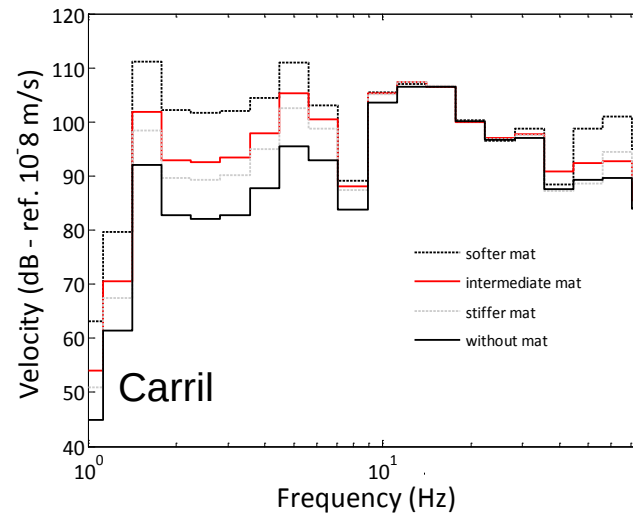
Cenário	$f_{\text{cut-on}} \text{ (Hz)}$	$f_{\text{cut-off}} \text{ (Hz)}$
Manta flexível	18.6	26.3
Manta intermédia	36.4	51.5
Manta rígida	49.5	70.1

4. Resultados e discussão

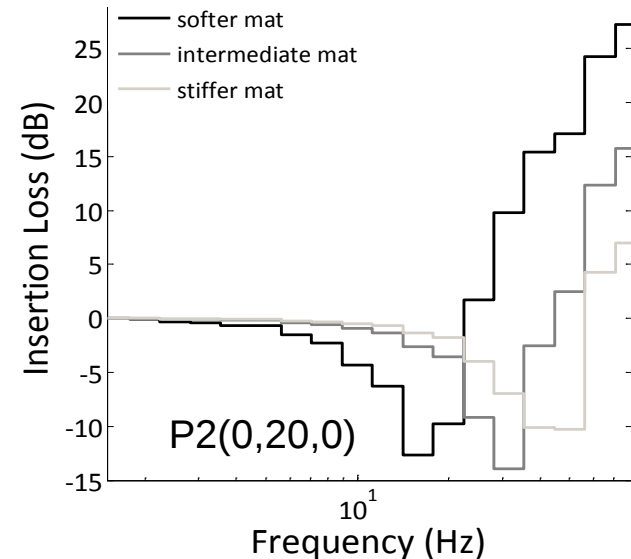
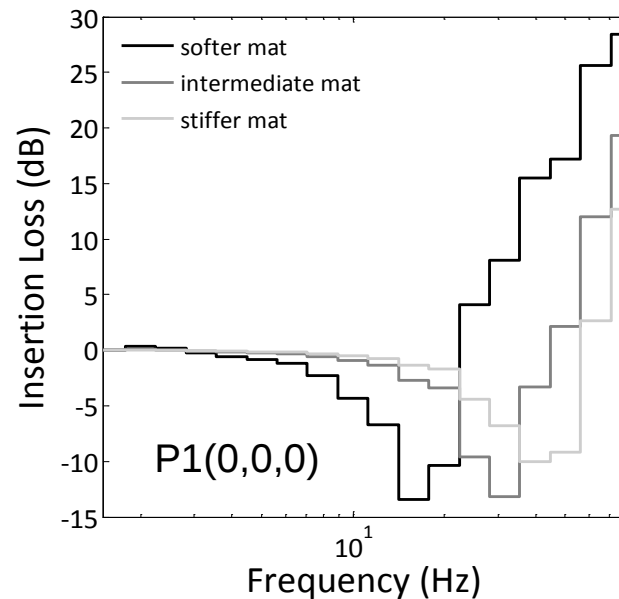
4. Resultados e discussão

Resposta dinâmica do sistema via-túnel-macijo

**Resposta
dinâmica da
via**

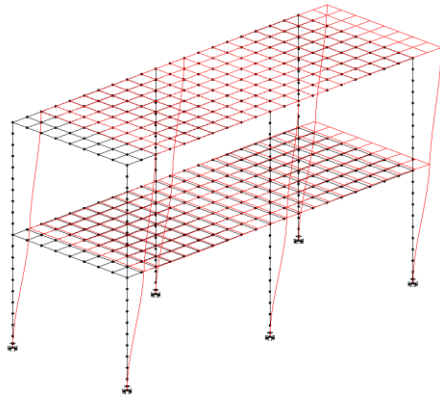


**Resposta
dinâmica do
macijo**

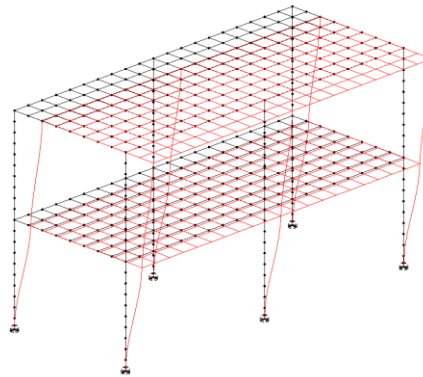


4. Resultados e discussão

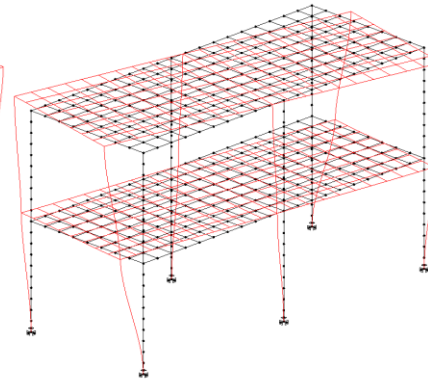
Resposta dinâmica do edifício



1st mode: $f=2.259$ Hz

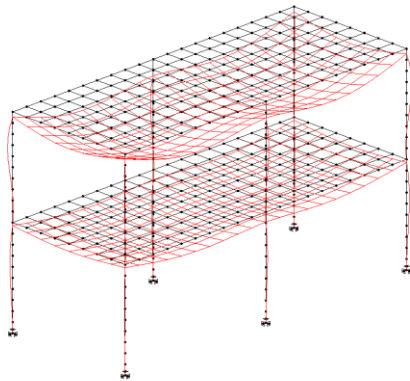


2nd mode: $f=2.264$ Hz

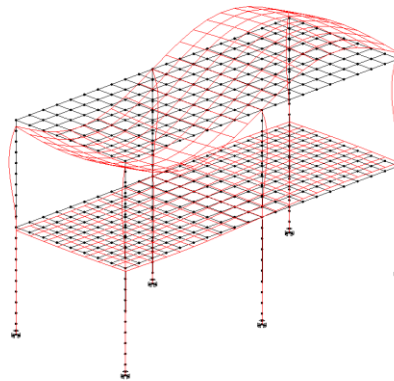


3rd mode: $f=3.228$ Hz

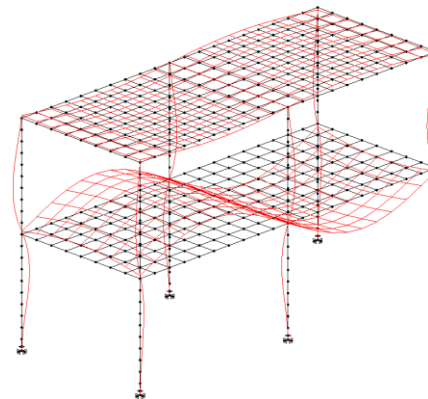
Modos globais



7th mode: $f=14.933$ Hz



8th mode: $f=15.633$ Hz



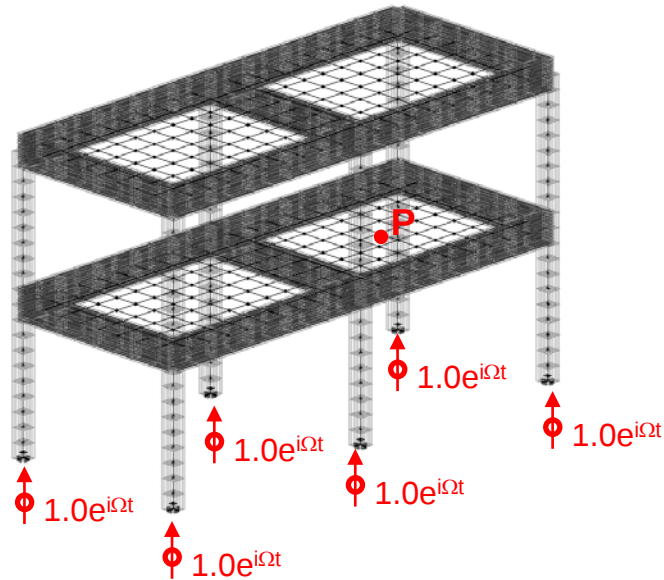
9th mode: $f=16.774$ Hz

Modos locais

Mode shapes of the building structure

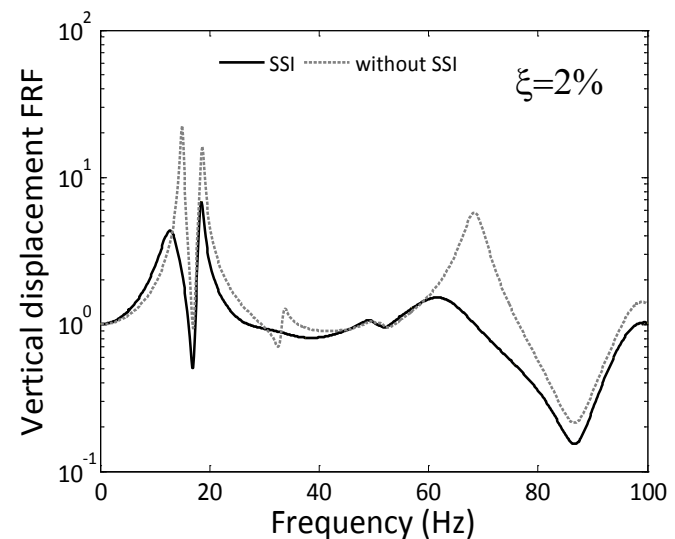
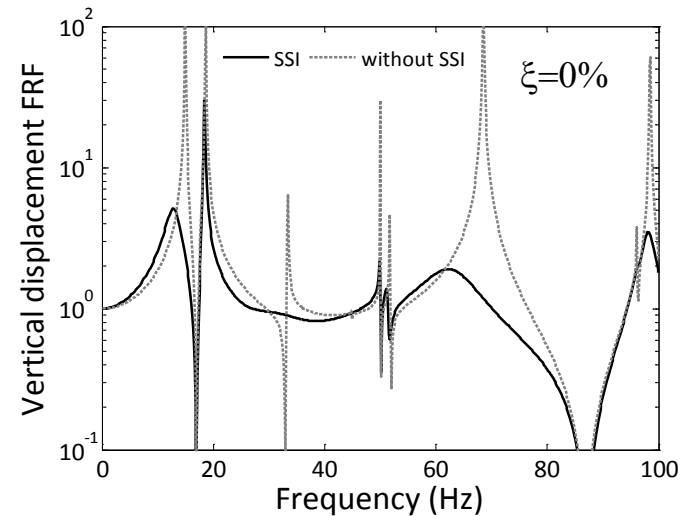
4. Resultados e discussão

Resposta dinâmica do edifício



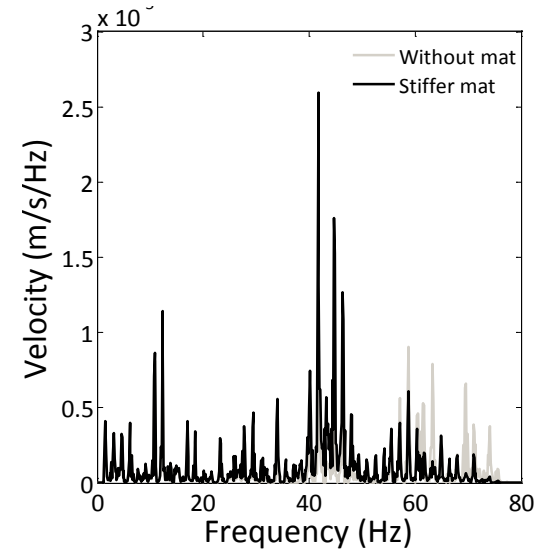
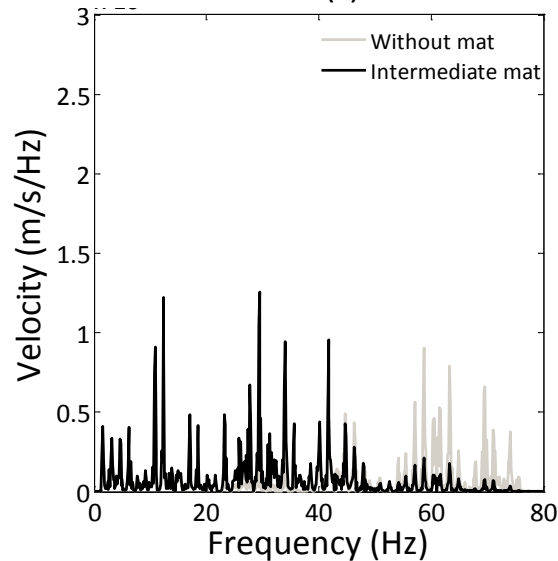
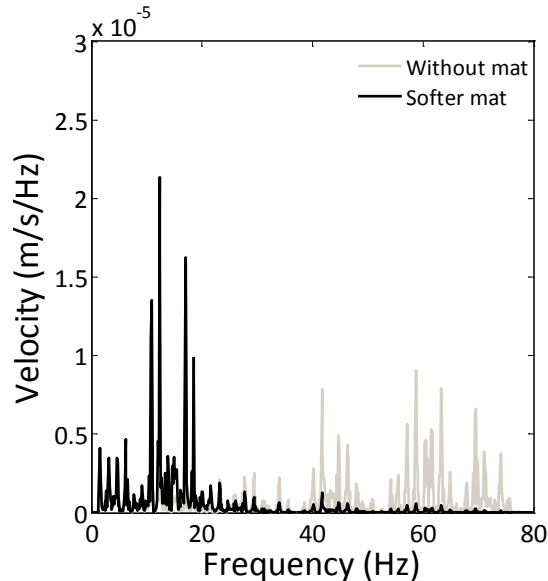
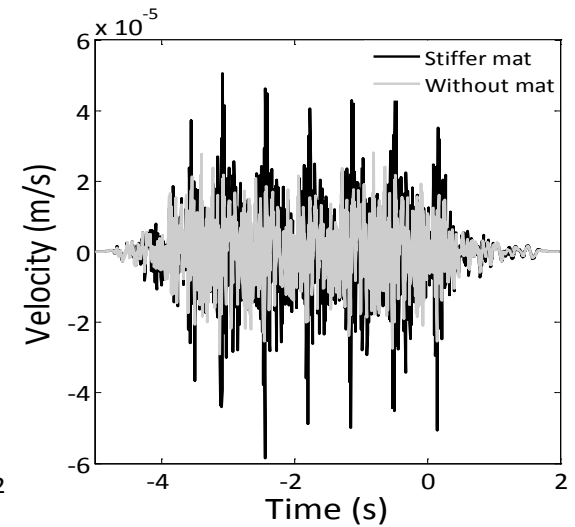
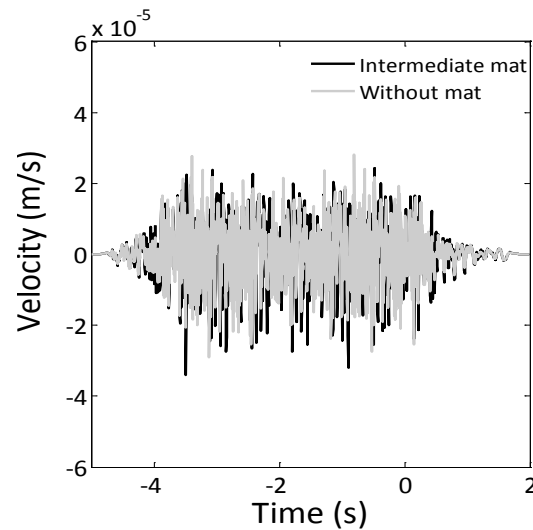
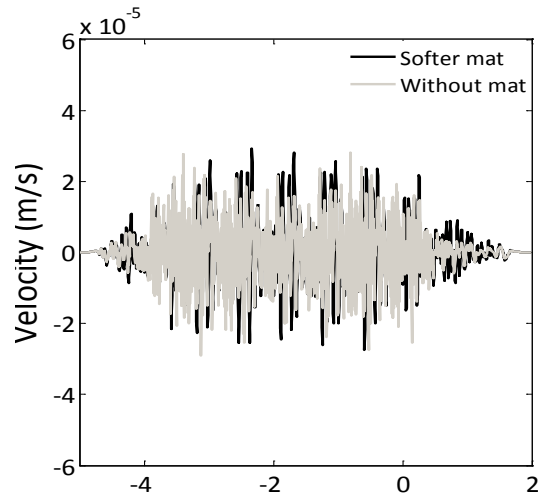
Elevada influência da interação solo-estrutura nos efeitos de “amortecimento”

Lopes, P., P. Alves Costa, et al. (2014). "Influence of soil stiffness on vibrations inside buildings due to railway traffic: numerical study." *Computers & Geotechnics* (DOI:10.1016/j.compgeo.2014.06.005).



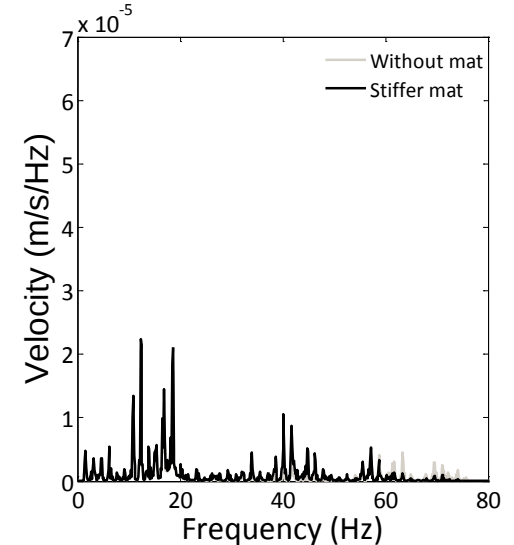
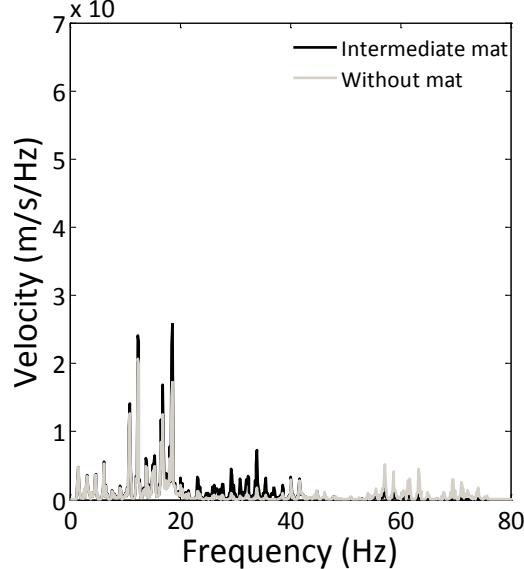
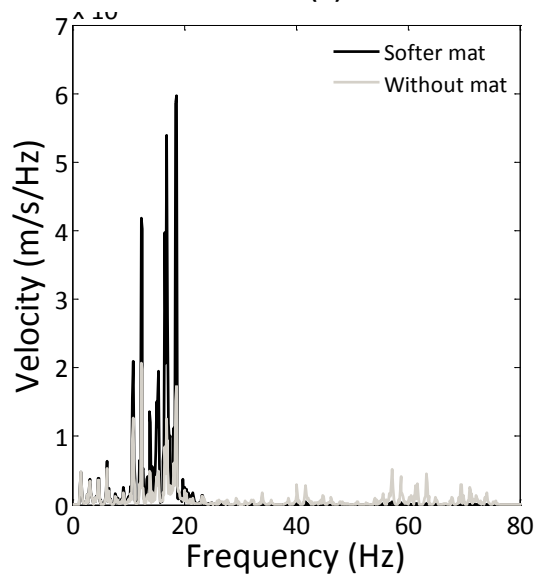
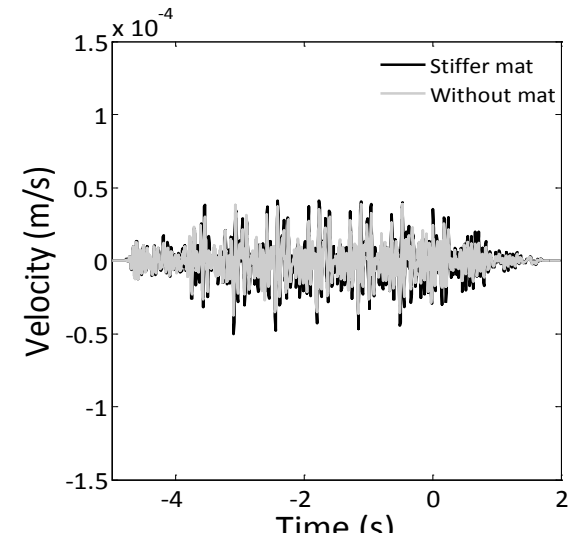
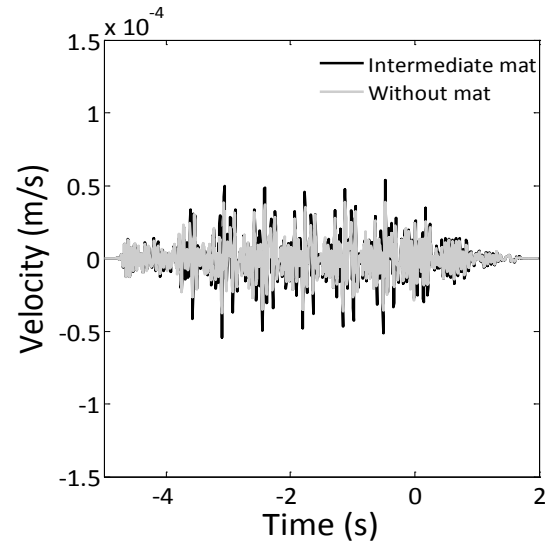
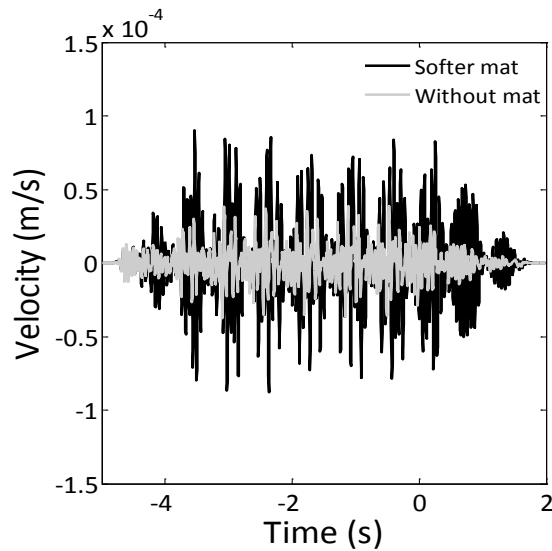
4. Resultados e discussão

Resposta dinâmica do edifício – Sapata D



4. Resultados e discussão

Resposta dinâmica do edifício – ½ vão da laje do 1º piso



5. Conclusões

5. Conclusões

Foi apresentada uma metodologia simples, baseada em conceitos de subestruturação, para a previsão de vibrações no interior de edifícios devido a tráfego ferroviário.

As propriedades dinâmicas do edifício desempenham um papel importante na amplificação ou atenuação das vibrações induzidas pelo tráfego ferroviário.

A eficiência de soluções do tipo laje flutuante para a mitigação de vibrações induzidas por tráfego é muito dependente da frequência de corte do sistema de isolamento.

Apesar da atenuação propiciada pela presença de material resiliente na via, um efeito pernicioso decorre da amplificação do campo de vibração incidente para frequências próximas da frequência de ressonância do sistema flutuante. Esse facto pode levar à amplificação da resposta no interior do edifício caso se verifique uma sobreposição das frequências naturais do edifício com a frequência de ressonância do sistema de isolamento.

Agradecimentos

O presente trabalho compreende investigação desenvolvida sob financiamento da "FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia", Portugal, nomeadamente através do projecto de investigação PTDC/ECM/114505/2009.

A primeira autora agradece à FCT pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de douramento SFRH/BD/69290/2010.



Obrigado pela vossa atenção

pacosta@fe.up.pt
csf@fe.up.pt