

ENSAIOS DINÂMICOS DA NOVA PONTE HINTZE RIBEIRO

Caetano, Elsa¹; Cunha, Álvaro²

¹Profª. Auxiliar, ²Prof. Associado Agregado

Laboratório de Vibrações e Monitorização (VIBEST, www.fe.up.pt/vibest)

Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



RESUMO

Apresenta-se uma descrição dos ensaios dinâmicos de recepção efectuados sobre a Nova Ponte Hintze Ribeiro, os quais envolveram a realização de um ensaio de vibração ambiental para a identificação das frequências naturais e modos de vibração mais relevantes da estrutura, quer de carácter global, quer local, associados a movimentos dos pilares, bem como o desenvolvimento de uma análise de correlação entre parâmetros modais identificados experimentalmente e calculados numericamente a nível de projecto. Complementarmente, foram realizados ensaios dinâmicos sob cargas de tráfego controlado, tendo em vista a avaliação experimental de efeitos dinâmicos associados à passagem de camiões pesados circulando a diferentes velocidades.

1- INTRODUÇÃO

O colapso da Ponte Hintze Ribeiro, ocorrido no Inverno de 2001, levou à rápida construção de um novo atravessamento rodoviário sobre o Rio Douro (Figura 1), mediante a construção de um tabuleiro misto aço-betão, apoiado em pilares de betão armado.

Esta nova ponte foi objecto de ensaios de recepção, alguns dias antes da sua entrada em serviço, mediante a realização de um conjunto de ensaios de natureza estática e dinâmica [Caetano & Cunha (2002)].

Neste trabalho apresenta-se uma descrição dos ensaios dinâmicos efectuados, os quais envolveram a realização de um ensaio de vibração ambiental para a identificação sistemática de frequências naturais e modos de vibração, quer de carácter global, quer local, associados a movimentos dos pilares, bem como o desenvolvimento de uma análise de correlação entre parâmetros

modais identificados experimentalmente e calculados numericamente a nível de projecto. Complementarmente, foram ainda realizados ensaios dinâmicos sob cargas de tráfego controlado, tendo em vista a avaliação experimental de efeitos dinâmicos associados à passagem de camiões pesados circulando a diferentes velocidades.

2- A NOVA PONTE HINTZE RIBEIRO

A nova ponte foi implantada 7,25 m a montante da anterior existente no local. Em planta, desenvolve-se em alinhamento recto e em perfil a directriz tem cota constante (35,50). A ponte tem 5 pilares de betão armado de secção transversal elíptica, fundados em conjuntos de quatro estacas encastradas no maciço rochoso no leito do rio. O tabuleiro é misto, constituído por duas longarinas formadas por vigas metálicas de alma cheia (ver Figura 2), com afastamento entre eixos de 6,0m, sobre as quais assenta uma laje pré-fabricada em

betão armado. Transversalmente, são dispostas carlingas constituídas por perfis metálicos, de maior dimensão sobre os apoios do tabuleiro, espaçadas de 2,25m nos vãos extremos e de 2,30m nos restantes vãos. Junto à face interior das almas das

longarinas, são dispostos os montantes, reforçados com banzos nas zonas de inserção das carlingas. O tabuleiro dispõe de uma largura total de 11,0 m, que comporta uma faixa de rodagem com 7,50 m, ladeada por passeios com 1,75 m.

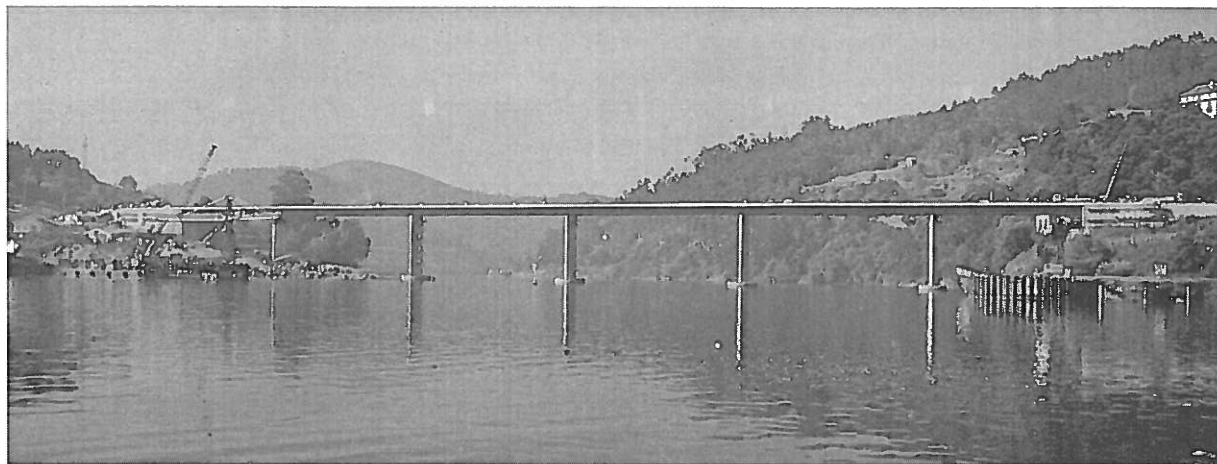


Fig. 1- Vista da Nova Ponte Hintze Ribeiro

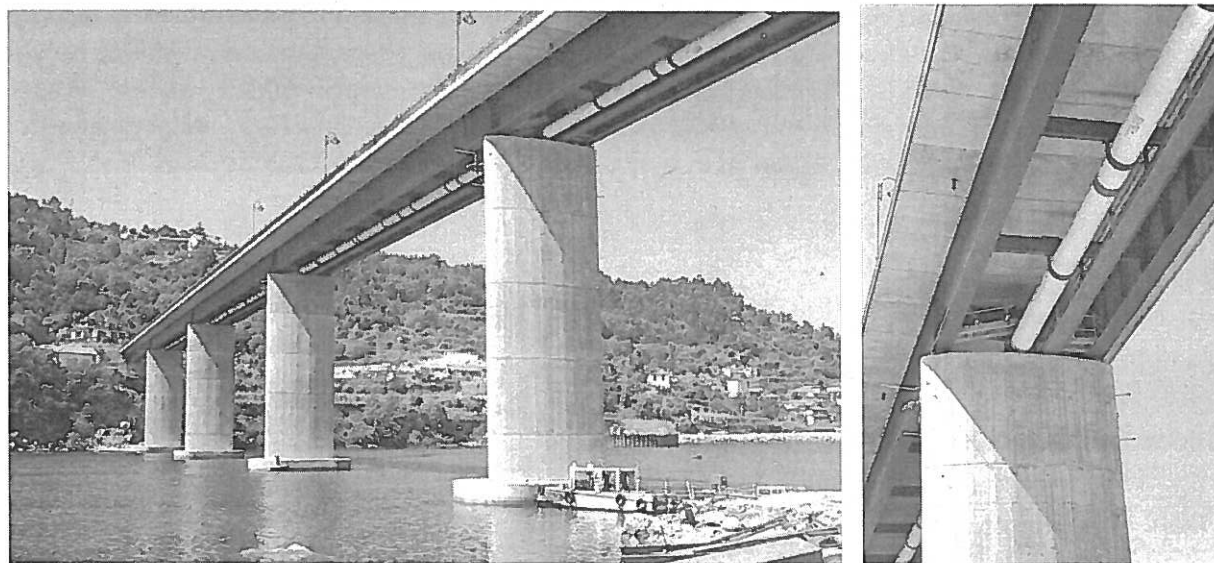


Fig. 2- Vista inferior do tabuleiro

3- IDENTIFICAÇÃO MODAL

3.1- Metodologia e equipamento utilizado no ensaio de vibração ambiental

O ensaio de vibração ambiental teve como objectivo essencial a identificação experimental dos parâmetros mais representativos do comportamento dinâmico da ponte, designadamente frequências naturais e modos de vibração, tendo por base a medição da resposta dinâmica da estrutura a acções de natureza

ambiental, como a acção do vento ou de cargas esporádicas de tráfego.

Para o efeito, foram considerados 23 pontos de medida sobre o tabuleiro, dispostos segundo um alinhamento em correspondência com uma das vigas metálicas longitudinais (Figuras 3 e 4). Esses pontos corresponderam à divisão de cada vão em quatro partes iguais, não se tendo efectuado, de forma sistemática, medições da resposta ambiental em cada uma das correspondentes secções

transversais a montante e a jusante, em virtude de a modelação numérica desenvolvida a nível de projecto não fazer prever a existência de frequências naturais de torção do tabuleiro na banda de frequências de interesse.

A medição da resposta dinâmica da ponte a acções de carácter ambiental foi efectuada com recurso a quatro sismógrafos, munidos de acelerómetros triaxiais de tipo “force-balance” e conversores analógico-digitais de 18 bit. Em cada “setup”, dois desses sismógrafos foram posicionados de forma fixa sobre os pontos 6 e 9 (sensores de referência), enquanto os outros dois funcionaram como sensores móveis sendo sucessivamente colocados ao longo dos restantes 21 pontos

de medida. A aquisição foi efectuada com uma frequência de amostragem de 100Hz e por períodos suficientemente prolongados, tendo em vista a obtenção de estimativas espectrais com resolução em frequência adequada face à gama de frequências de maior interesse, pressupondo a realização de médias para a atenuação dos efeitos de ruído na cadeia de medição e a consideração de uma taxa de “overlapping” entre 30 e 60%. A sincronização dos sismógrafos foi conseguida através do relógio interno de um computador portátil, mediante a programação dos disparos.

Complementarmente, e no sentido de compreender a participação dos pilares em modos de vibração globais ou locais da estrutura da ponte, foram também efectua

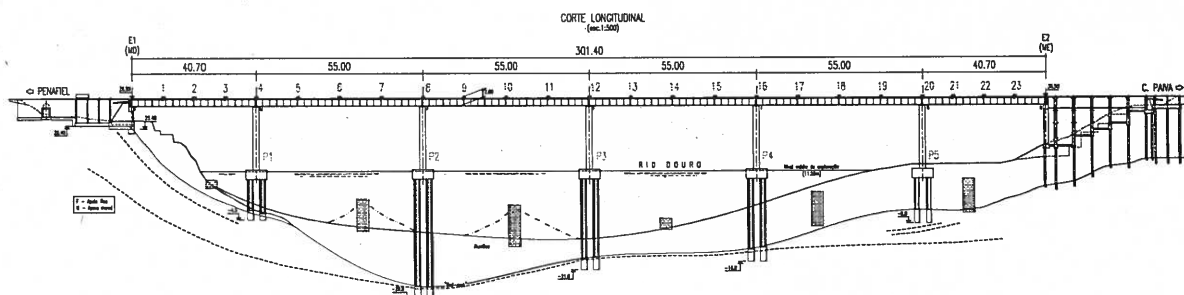


Fig. 3- Localização dos 23 pontos de medida sobre o tabuleiro

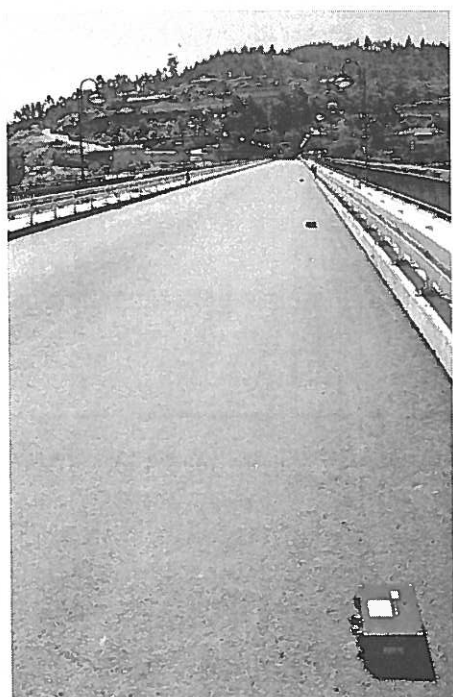


Fig. 4- Colocação dos sismógrafos sobre o tabuleiro durante o ensaio de vibração ambiental, após programação da aquisição sincronizada

das medições da resposta ambiental em dois pontos junto à base de cada pilar (um a montante e outro a jusante) e um ponto no topo (junto ao passadiço de acesso sob o tabuleiro) (Figuras 5 e 6), num total de 15 pontos de medida adicionais. Em cada um dos novos “setups” de medida nos pilares, três dos sismógrafos foram colocados nos três pontos de medida relativos a cada um dos cinco pilares, enquanto o quarto sismógrafo se manteve fixo no ponto de referência número 6. A colocação dos dois sismógrafos junto à base de cada pilar foi efectuada no sentido de melhor caracterizar o tipo das correspondentes configurações modais, em termos de flexão ou torção, tendo exigido o recurso à utilização de uma embarcação de apoio (Figura 6).

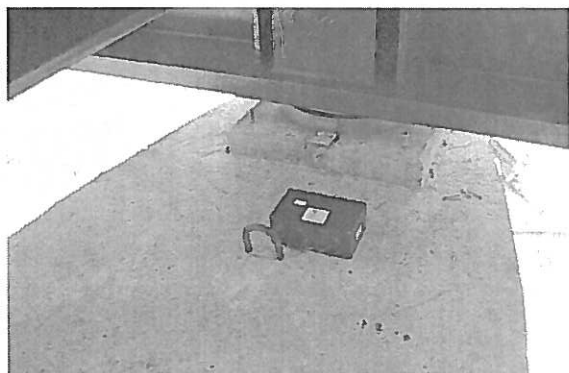


Fig. 5- Sismógrafo colocado sobre o topo de um dos pilares junto à galeria de acesso sob o tabuleiro

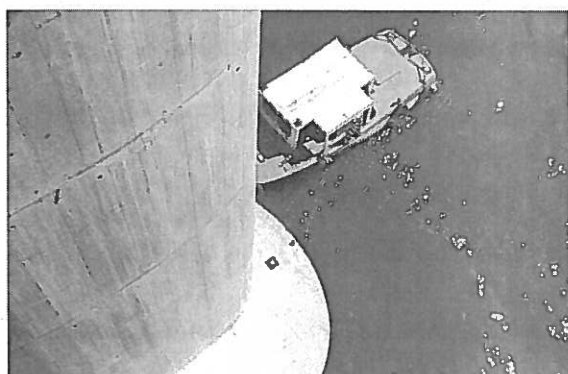


Fig. 6- Sismógrafo colocado na base de um dos pilares com apoio de uma embarcação

A identificação experimental dos parâmetros modais mais relevantes foi efectuada com base no método convencional de “Peak-Picking” [Cunha et al (2001)] e no método de decomposição espectral em frequência [Brincker et al (2000)].

Seguindo a primeira dessas vias, foram avaliadas estimativas espectrais médias normalizadas relativas à resposta ambiental da ponte em cada um dos 23 pontos de medida, considerando as três direcções ortogonais anteriormente referidas. Com base nessas estimativas, quantificadas através da aplicação de “software” de análise e processamento de sinal apropriado, foram avaliados os correspondentes espectros de potência médios normalizados abrangendo a totalidade desses pontos de medida.

A identificação experimental de frequências naturais associadas a modos de vibração globais da estrutura da ponte foi efectuada mediante uma cuidada observação dos picos destas estimativas espectrais médias, tendo-se procurado desde logo classificar as correspondentes configurações modais de acordo com o tipo de movimento dominante (longitudinal, transversal ou vertical).

A identificação experimental dos correspondentes modos de vibração foi, por sua vez, realizada mediante a avaliação de funções de transferência da resposta ambiental relacionando a resposta medida em cada ponto de referência e em cada um dos restantes pontos de medida. Para cada frequência natural identificada, a amplitude de cada uma destas funções de transferência, em escala linear, forneceu directamente a estimativa da relação entre componentes modais associadas ao par de pontos correspondente. A mudança de sinal das componentes de cada modo de vibração foi simultaneamente detectada através da variação da fase daquelas funções de transferência.

No sentido de se conseguir alcançar uma mais correcta interpretação do significado físico associado a cada modo de vibração identificado, as diferentes configurações modais foram também representadas através de “software” de identificação e animação apropriado, apoiado no método de decomposição espectral em frequência.

3.2- Parâmetros modais identificados

Os sinais captados revelam natureza sensivelmente estacionária, sendo o seu nível genericamente bastante baixo, embora suficiente dado o nível de precisão proporcionado pelos equipamentos de medida utilizados.

No Quadro I, efectua-se uma caracterização dos níveis máximos de aceleração obtidos nos vários pontos de medida ao longo do tabuleiro, segundo três direcções ortogonais: longitudinal (direcção de desenvolvimento da ponte), vertical e transversal, e considerando também a correspondente soma vectorial.

Com base nos registos temporais colhidos em cada um dos “setups” de ensaio, foram construídos os espectros de potência médios normalizados abrangendo a totalidade dos 23 pontos de medida do tabuleiro, os quais se encontram representados na Figura 7.

Uma análise cuidada dos picos dos espectros médios relativos às direcções vertical e transversal permite constatar a existência de um número significativo de modos de vibração globais na banda de frequências de maior interesse (0-4Hz). No Quadro II, resumem-se os valores das frequências naturais mais significativas identificadas nesta gama de frequências, bem como o tipo de modo de vibração (de flexão vertical e/ou transversal) que lhe está associado.

Por outro lado, examinando o espectro de potência médio relativo à componente longitudinal [Caetano & Cunha (2002)], é possível nele observar um conjunto de

picos noutras frequências, as quais poderão traduzir a existência quer de algum modo longitudinal global afectando o tabuleiro, quer de modos de natureza mais local ao nível de cada um dos pilares, mas que se repercutem sobre as medições efectuadas no tabuleiro.

As estimativas espectrais médias obtidas a partir da medição da resposta ambiental nos 23 pontos considerados sobre o tabuleiro foram utilizadas na construção das funções de transferência relacionando a resposta medida em cada ponto de referência e nos diversos pontos de medida móveis. Uma cuidada inspecção destas funções de transferência permitiu, por seu

Quadro I. Valores de pico de aceleração no tabuleiro segundo as três componentes e soma vectorial

Ponto	Long (mg)	Transv. (mg)	Vert. (mg)	S. vect. (mg)
1	0,45	1	1,94	1,95
2	0,64	0,54	2,96	3,01
3	0,2	-0,86	-1,11	1,12
4	0,45	0,31	-0,31	0,48
5	0,33	1,11	-2,13	2,14
6	0,27	0,78	-2,75	2,76
7	0,56	1,38	2,26	2,28
8	0,27	0,86	0,35	0,87
9	0,28	1,34	-2,6	2,6
10	0,32	-0,53	1,65	1,65
11	0,24	0,96	-1,67	1,68
12	0,32	-0,46	-0,62	0,64
13	0,38	0,77	-1,49	1,51
14	0,4	-0,37	-1,81	1,81
15	-0,38	1,04	2,72	2,73
16	-0,47	0,67	-0,78	0,81
17	0,29	0,99	1,47	1,47
18	-0,21	-0,46	-1,71	1,71
19	-0,41	-0,91	-2,35	2,35
20	-0,34	0,49	0,61	0,63
21	-0,62	1,2	1,79	1,79
22	-0,51	0,5	-2,56	2,57
23	-0,28	0,96	-1,16	1,16

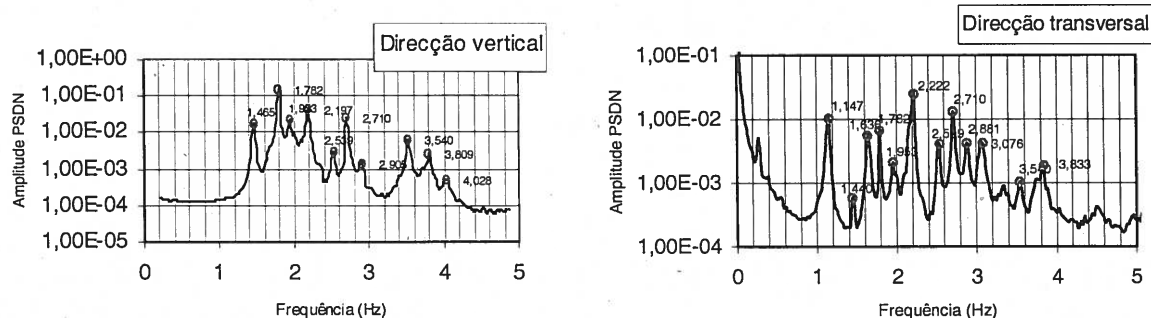


Fig. 7- Espectros de potência médios normalizados de aceleração abrangendo os 23 pontos de medida

Quadro II. Frequências naturais identificadas

Frequência (Hz)	Tipo de modo
1.147	Transversal
1.465	Vertical + Transversal(*)
1.636	Transversal
1.782	Vertical + Transversal(*)
1.953	Vertical(*) + Transversal(*)
2.197	Vertical
2.222	Transversal + Vertical
2.539	Vertical + Transversal
2.710	Vertical + Transversal
2.881	Transversal + Vertical (*)
3.076	Transversal
3.540	Vertical

(*) – Componente pouco significativa

turno, obter estimativas de um número significativo de modos de vibração. Nas Figuras 8 e 9, apresentam-se representações gráficas dos principais modos de vibração identificados. Alguns destes modos apresentam configurações semelhantes do tabuleiro, certamente associadas a diferentes movimentos dos pilares.

Com base nos registos colhidos no topo e na base dos pilares, foi possível obter três tipos de estimativas espectrais distintas, nomeadamente:

- Espectros de potência médios relativos à componente longitudinal de aceleração medida no topo e na base de cada um dos pilares (Figura 10);
- Espectros de potência médios relativos à componente transversal de aceleração medida no topo e na base de cada um dos pilares (Figura 10);
- Espectros de potência médios relativos à semi-soma e à semi-diferença das componentes longitudinais de aceleração medidas na base de cada um dos pilares.

Uma análise cuidada dessas estimativas espectrais médias [Caetano & Cunha (2002)] possibilitou concluir, em particular, o seguinte:

- Os pilares extremos, P1 e P5 (ver Fig. 3), apresentam movimentos no seu topo, na direcção longitudinal, claramente superiores aos verificados na base, na

generalidade da gama de frequências 0-5Hz;

- No pilar P4, embora a desproporção entre os movimentos no topo, na direcção longitudinal, e na base não seja tão elevada, continua a constar-se que os movimentos no topo são significativamente superiores, em especial na banda 0-3Hz;
- Nos pilares P2 e P3, fundados a maior profundidade, verifica-se todavia que, na banda de frequências 0-2,6Hz, os movimentos na base são superiores aos movimentos no topo, na direcção longitudinal, ocorrendo situação inversa para frequências superiores;
- Em relação a movimentos na direcção transversal, verifica-se também que estes são significativamente superiores no topo em relação à base no caso dos pilares extremos, P1 e P5, constatando-se idêntica tendência, embora menos nítida, no pilar P4 para a banda de frequências 0-3Hz;
- Porém, nos pilares P2 e P3, verifica-se que os movimentos no topo e na base, na direcção transversal, assumem valores da mesma ordem de grandeza na generalidade das frequências observadas;
- Os valores de pico das estimativas espectrais relativas à resposta ambiental dos pilares P1 a P5, no topo e na base, quer na direcção longitudinal, quer na direcção transversal, correspondem em geral a frequências associadas a modos globais da estrutura, envolvendo a flexão vertical do tabuleiro e/ou a flexão transversal, e já anteriormente detectados através das medições sistemáticas realizadas ao longo dos 23 pontos de medida no tabuleiro;
- Pode porém constatar-se a existência de picos relativos às frequências de 1,448Hz, 1,782Hz, 2,195Hz e 3,509Hz, que correspondem a modos de vibração em que diversos pilares têm uma participação significativa em termos de movimentos longitudinais. A Figura 11 mostra, por exemplo, um destes modos;

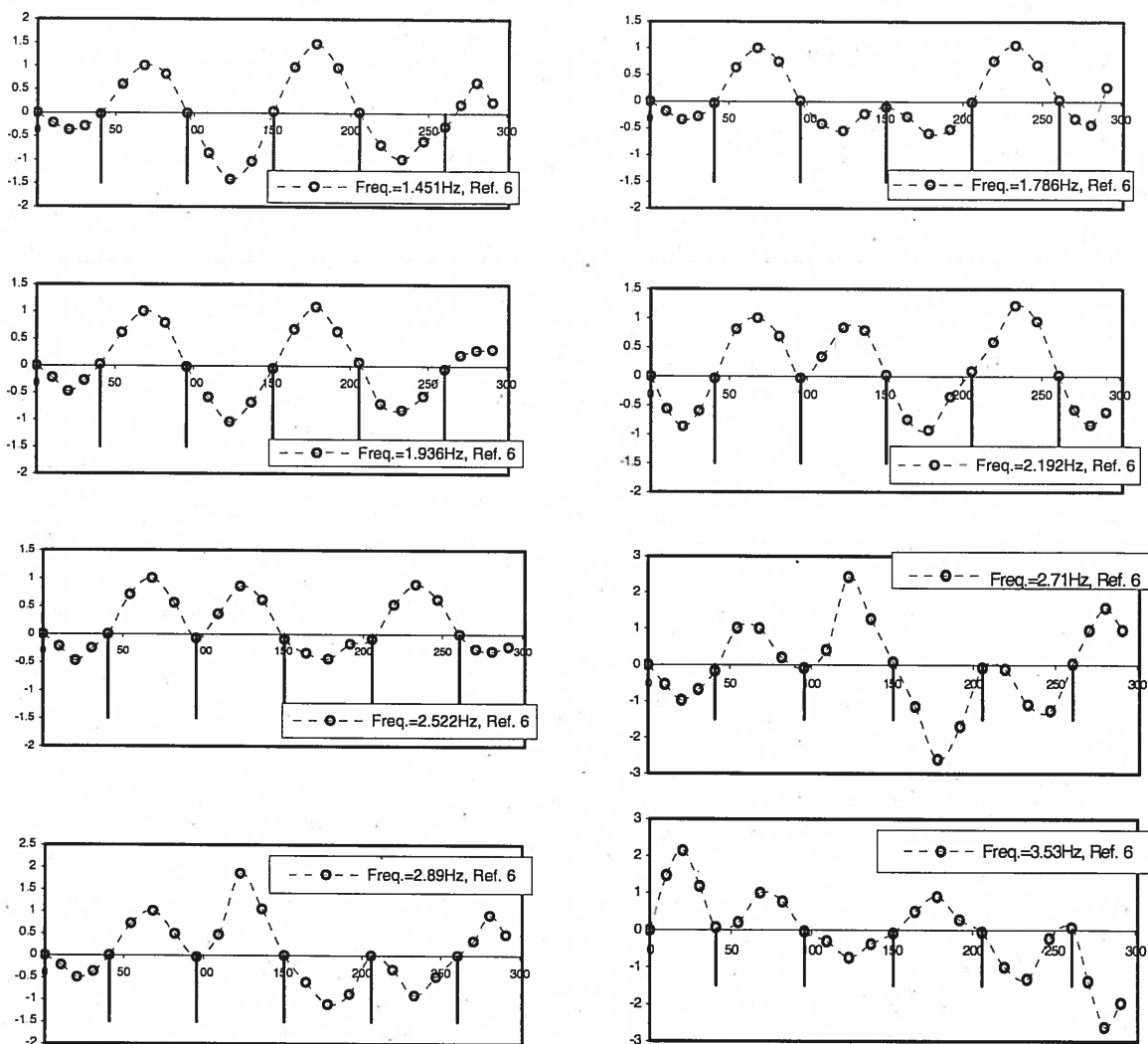


Fig. 8- Modos de vibração identificados na gama de frequências 0-3,6Hz com componente de flexão vertical predominante

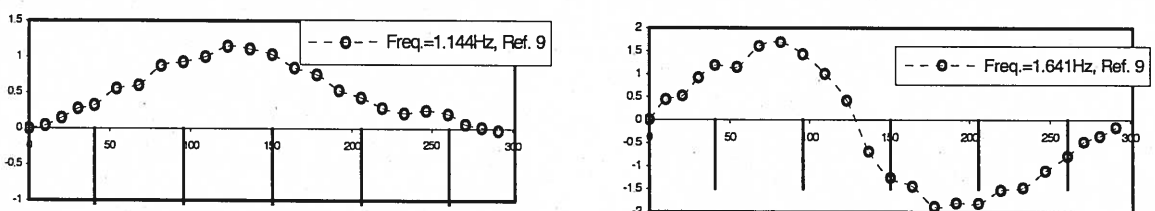


Fig. 9- Primeiros modos de vibração identificados na gama de frequências 0-3,6Hz com componente de flexão transversal predominante

- Não se revela fácil a identificação de possíveis modos de vibração dos pilares com carácter localizado, cujos contributos, a existirem, são claramente dominados pela maior importância dos modos de natureza global;
- Todavia, no caso dos pilares fundados a maior profundidade, P2 e P3, torna-se evidente a existência de frequências

baixas associadas a modos locais dos pilares. Estas frequências têm os valores de 0,64Hz e de 0,59Hz, para o pilar P2, e de 0,59Hz e de 0,56Hz, para o pilar P3, respectivamente nas direcções longitudinal e transversal. Verifica-se também que, no caso destes modos locais de pilares, os movimentos longitudinais são sentidos essencialmente ao nível da base

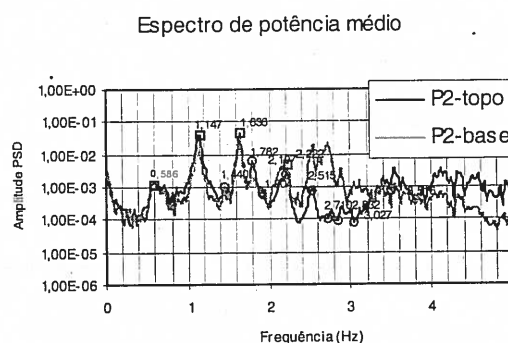
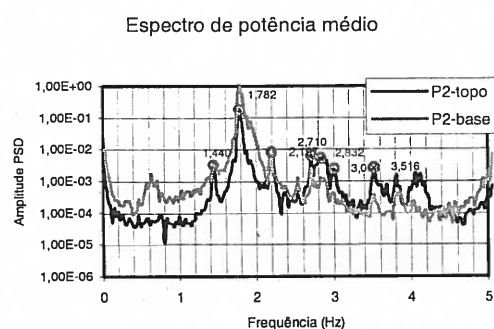


Fig. 10- Espectros de potência médios (PSD) relativos à componente longitudinal (à esquerda) e transversal (à direita) da aceleração medida no topo e na base do pilar P2

do pilar, enquanto que os movimentos transversais são detectáveis quer ao nível do topo, quer da base, apresentando sensivelmente a mesma ordem de grandeza;

- Em relação a outros modos de vibração de natureza local em pilares, é ainda possível identificar, embora com um grau de segurança inferior, a possível existência de modos longitudinais em correspondência com as seguintes frequências: 1,0Hz, 1,904Hz e 2,515Hz (Pilar P1); 2,832Hz e 3,003Hz (Pilar P2); 1,929Hz e 2,515 Hz (Pilar P3); 1,929Hz (Pilar P4); 2,710Hz e 2,687Hz (Pilar P5);
- Da análise das estimativas espectrais médias relativas aos sinais semi-diferença da resposta ambiental medida junto à base de cada um dos pilares, na direcção longitudinal, apenas ressalta, embora de forma pouco clara, a existência de um modo local dos pilares, com características eminentemente de torção, correspondente ao pilar P3, e com uma frequência natural de 2,515Hz.

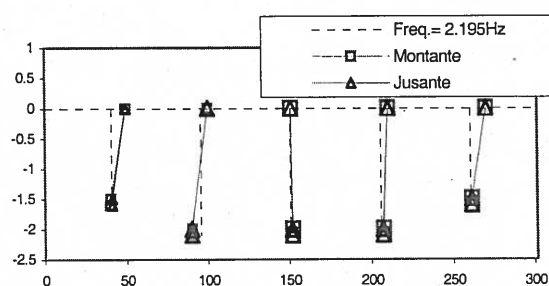


Fig. 11- Modo de vibração identificado com participação significativa dos pilares na direcção longitudinal

3.3- Correlação entre parâmetros modais identificados e calculados

No sentido de analisar em que medida os parâmetros modais calculados a nível de projecto [Lisconcebe (2001)] se aproximam dos parâmetros modais identificados experimentalmente, começou por ser efectuada uma comparação ao nível de frequências naturais relativas aos modos globais mais relevantes, a qual se encontra resumida nos Quadros III e IV.

Da observação destes quadros, pode concluir-se que o grau de correlação existente entre frequências naturais identificadas e calculadas é substancialmente diferente consoante se considerem modos de vibração com predominância de flexão vertical ou de flexão transversal, verificando-se que, no primeiro caso, essa correlação é bastante elevada, sendo significativamente mais baixa no segundo. Este facto evidencia pois que o modelo numérico desenvolvido é consideravelmente mais flexível na direcção transversal do que o que se verifica na realidade, discrepância que decorre naturalmente da dificuldade de modelar correctamente, a nível de projecto, a interacção solo-estrutura ocorrida entre as estacas e o maciço de fundação em que se encontram inseridas.

Apesar destas discrepâncias verificadas ao nível da comparação de frequências naturais, regista-se uma concordância bastante assinalável entre configurações modais identificadas e calculadas, como resulta claro da observação das Figuras 12 e 13.

Quadro III. Comparação entre frequências naturais calculadas e identificadas associadas a modos predominantemente de flexão vertical

Frequência calculada (Hz)	Frequência identificada (Hz)	Tipo de modo (*)
1,608	1,465	1º vertical
1,896	1,782	2º vertical
2,291	2,197	3º vertical
2,711	2,710	4º vertical
3,458	3,54	5º vertical

(*) – De acordo com os resultados da modelação numérica fornecidos pelo Projectista

Quadro IV. Comparação entre frequências naturais calculadas e identificadas associadas a modos predominantemente de flexão transversal

Frequência calculada (Hz)	Frequência identificada (Hz)	Tipo de modo (*)
0,715	1,147	1º transversal
0,892	1,636	2º transversal
1,180	2,881	3º transversal

(*) – De acordo com os resultados da modelação numérica fornecidos pelo Projectista

Nestas figuras, efectua-se uma comparação entre componentes modais relativas a componentes verticais ou transversais de diversos modos de vibração identificados.

4- EFEITOS DINÂMICOS DEVIDOS A CARGAS DE TRÁFEGO

A medição de efeitos dinâmicos devidos a cargas de tráfego rodoviário foi realizada fazendo passar sobre a ponte quatro camiões carregados (com cerca de 38t), utilizados nos ensaios estáticos de recepção, circulando no sentido Norte-Sul, a diferentes velocidades, isolados ou em grupo e, em alguns casos, passando sobre uma prancha de madeira com cerca de 4cm de altura (Fig. 14).

A resposta dinâmica da ponte foi caracterizada em acelerações, através da colocação dos quatro sismógrafos anterior-

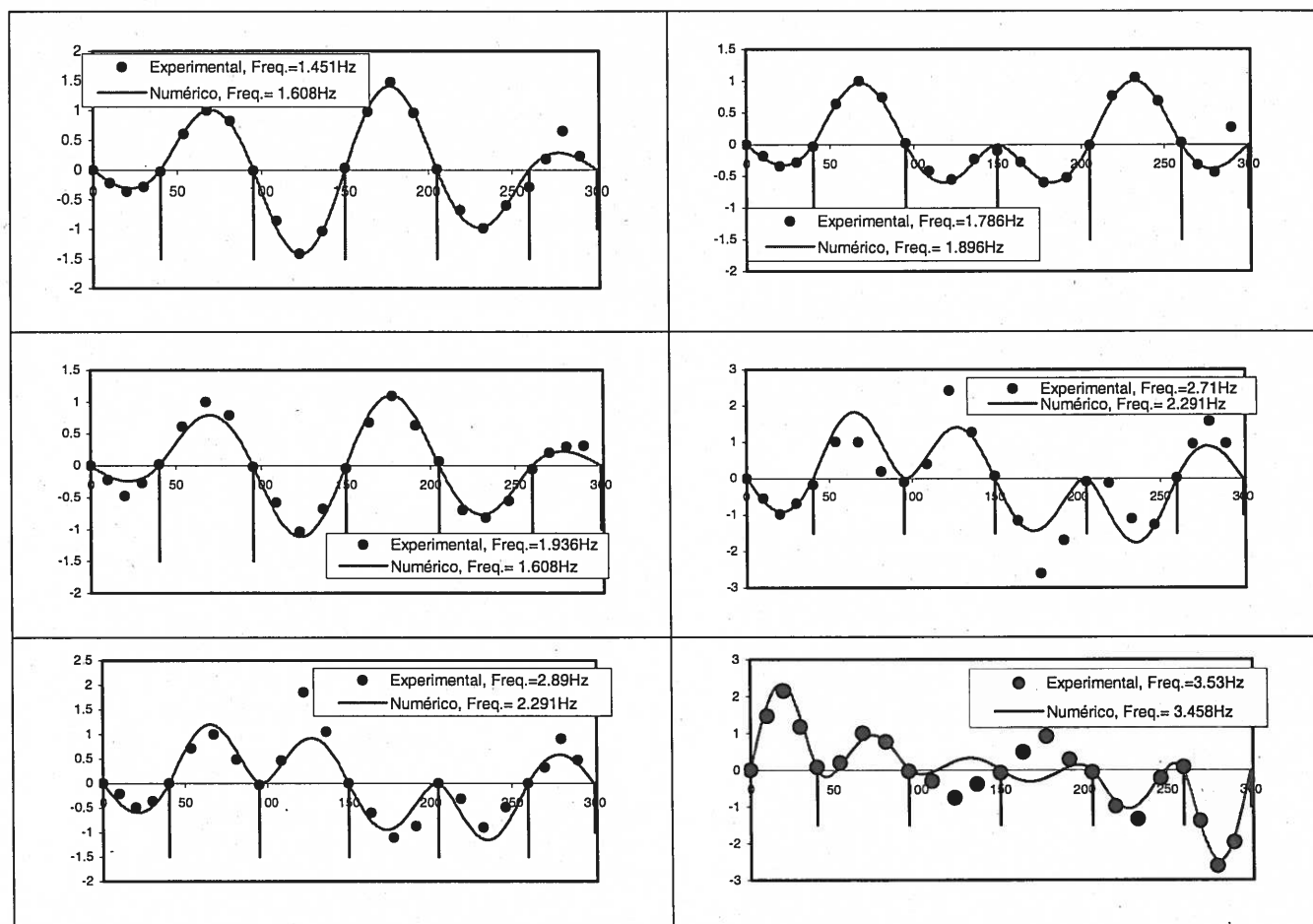


Fig.12- Modos de vibração identificados vs calculados ao longo do tabuleiro (componentes verticais)

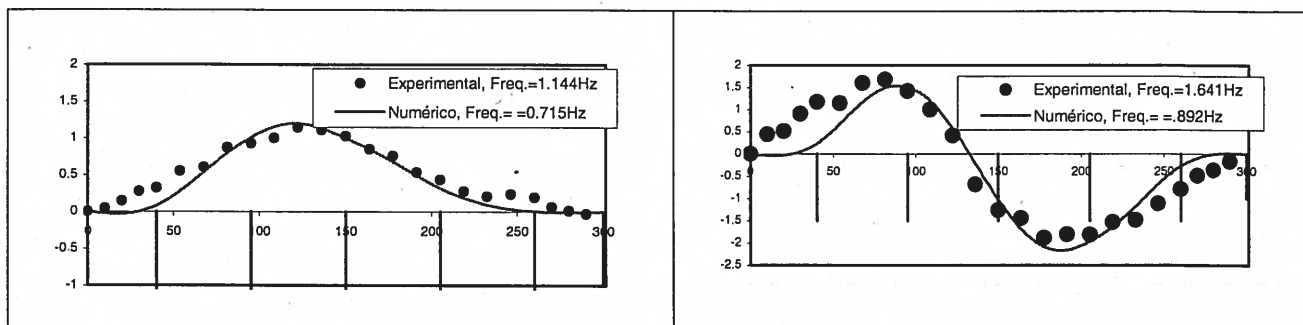


Fig. 13- Modos de vibração identificados vs calculados ao longo do tabuleiro (componentes transversais)



Fig. 14- Ensaios dinâmicos sob tráfego controlado

mente referidos sobre as secções 6, 10, 14 e 18 do tabuleiro, do lado montante.

As séries temporais colhidas durante as diferentes passagens dos camiões possibilitaram a determinação não apenas de valores máximos de aceleração, mas também, posteriormente, a determinação das correspondentes séries temporais da resposta dinâmica em deslocamentos, mediante integração digital, e subsequentemente a quantificação de factores de amplificação dinâmica da resposta da estrutura em deslocamentos, por comparação dos valores máximos dos deslocamentos dinâmicos com os deslocamentos estáticos determinados no ensaio estático de recepção [Felix & Figueiras (2002)].

A Figura 15 caracteriza, por exemplo, a variação registada em termos do valor médio da aceleração máxima medida em cada um dos pontos instrumentados, devida à passagem de quatro camiões isolados circulando às velocidades de 15, 30, 45 e 60 km/h, na situação sem inclusão de prancha.

A Figura 16 caracteriza, por seu turno, a variação do factor de amplificação dinâmica associado à resposta em deslocamentos nos quatro pontos de medida considerados, com a velocidade de circulação de camiões isolados circulando ao longo da faixa central do tabuleiro, naquela mesma situação.

A significativa dispersão encontrada nos valores máximos das acelerações registadas deve-se a vários factores, designadamente à natureza aleatória associada à rugosidade do pavimento, ao reduzido número de passagens efectuadas com os camiões, à dificuldade em controlar com rigor a trajectória e velocidade de passagem dos veículos ou a características levemente diferentes dos camiões utilizados.

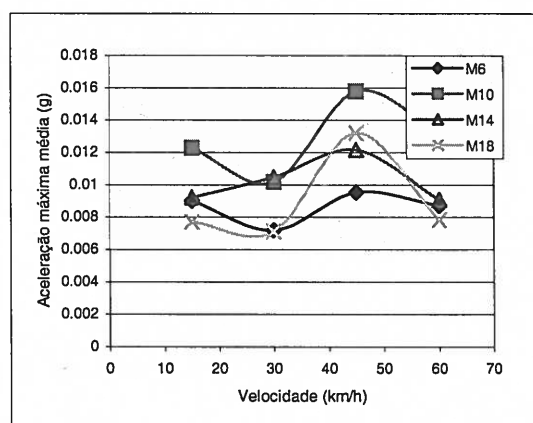


Fig 15- Valores médios da aceleração máxima registada nos 4 pontos de medida (6, 10, 14 e 18, montante) devidos à passagem de camiões isolados a diferentes velocidades.

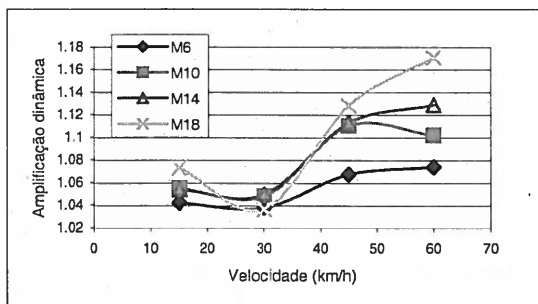


Fig 16- Variação do factor de amplificação dinâmica associado à resposta em deslocamentos com a velocidade de circulação

5- CONCLUSÕES

Os ensaios dinâmicos de recepção da Nova Ponte Hintze Ribeiro comportaram a realização de um ensaio de vibração ambiental e de uma campanha de medição de efeitos dinâmicos sob tráfego controlado. O ensaio de vibração ambiental, realizado com base numa solução sem cabos, possibilitou a identificação das frequências naturais e modos de vibração mais relevantes não apenas de carácter global, mas também local, associados a movimentos dos pilares.

O desenvolvimento de uma análise de correlação entre parâmetros modais identificados experimentalmente e calculados numericamente a nível de projecto evidenciou que o grau de correlação existente entre frequências naturais identificadas e calculadas é substancialmente diferente consoante se considerem modos de vibração com predominância de flexão vertical ou de flexão transversal, verificando-se que, no primeiro caso, essa correlação é bastante elevada, sendo significativamente mais baixa no segundo. Este facto mostra que o modelo numérico desenvolvido é consideravelmente mais flexível na direcção transversal do que o que se verifica na realidade, discrepância que decorre naturalmente da dificuldade de modelar correctamente, a nível de projecto, a interacção solo-estrutura ocorrida entre as estacas e o maciço de fundação em que se encontram inseridas. Os resultados experimentais obtidos poderão futuramente permitir uma afinação do modelo numérico existente, o

que poderá naturalmente ser interessante do ponto de vista de verificação da segurança.

Por sua vez, os ensaios para medição de efeitos dinâmicos associados à passagem de tráfego pesado sobre a ponte possibilitam a caracterização da variação de factores de amplificação dinâmica associados à resposta em deslocamentos verticais do tabuleiro com a velocidade de circulação, tendo-se podido constatar que, apesar da dispersão registada, os efeitos dinâmicos medidos são da ordem de grandeza dos valores habitualmente esperados numa ponte com as características da estrutura ensaiada.

REFERÊNCIAS

- Brincker R., Zhang L. & Andersen P., "Modal identification from ambient responses using frequency domain decomposition", In *Proceedings of IMAC-XVIII, International Modal Analysis Conference*, pp.625-630, San Antonio, Texas, USA, 2000.
- Caetano, E. & Cunha, Á., Ensaio de Vibração Ambiental da Nova Ponte Hintze Ribeiro, Relatório do Laboratório de Vibrações e Monitorização de Estruturas VIBEST, IC/FEUP, 2002.
- Cunha Á., Caetano E. & Delgado, R., "Dynamic Tests on a Large Cable-Stayed Bridge. An Efficient Approach", *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, Vol. 6, No.1, pp.54-62, 2001.
- Felix C. & Figueiras J., "Instrumentação e Observação do Comportamento da Nova Ponte Hintze Ribeiro durante o Ensaio de Carga", Relatório do LABEST, IC/FEUP, Julho de 2002.
- Lisconcebe, Consultadoria de Projectos de Engenharia, SA, "Ponte Hintze Ribeiro sobre o Rio Douro. Projecto de Execução", 2001.

