

Estudo de Caso: Reforço de Obra de Arte Especial com o Uso de Estaca Mega

Rodrigo Pereira¹, Pedro Henrique Lucena², Anne Karoline Fortunato do Carmo³

¹Strata Engenharia Ltda. / rodrigoestruturas@gmail.com

²Strata Engenharia Ltda. / pedrohenri_que@outlook.com

³Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais / annekarolinefc@gmail.com

Resumo

Há diversos desafios para a construção de grandes Obras de Arte Especiais (OAEs). Observa-se que a principal dificuldade encontrada é a de construir uma estrutura longa o suficiente para vencer grandes vãos e que seja capaz de suportar as vibrações causadas por diversos fatores como terremotos, ventos e cargas dinâmicas. A motivação do estudo do uso de estaca Mega em reforço de OAEs é devido ao fato de ser um assunto de grande importância acadêmica e social, além de apresentar um número de publicações inexistente. Este trabalho é dedicado ao estudo da Ponte sobre o Córrego Pilões, situada na BR-356, no estado de Minas Gerais, cuja vibração no modo vertical (da superestrutura em balanço) causou desconforto nos usuários e manifestações patológicas no acesso e, conforme Figura 1, foram utilizadas estacas prensadas como solução.



Figura 1 – Utilização de estacas Mega no balanço longitudinal da ponte.

Um ponto bastante evidente durante a realização da pesquisa foi a maior vulnerabilidade das obras que, em seu esquema estrutural, possuem as extremidades em balanço. Portanto, o objetivo deste trabalho é discutir as manifestações patológicas típicas ocasionadas pelo excesso de vibração da estrutura e contribuir com a ampliação do conhecimento sobre uso de estaca Mega como reforço estrutural em OAEs, visto que a bibliografia especializada sobre o assunto é escassa.

Palavras-chave

Estacas Mega; Obra de Arte Especial; manifestações patológicas; patologias de fundações.

1. Introdução

Obras de arte especiais (OAEs) são estruturas utilizadas para possibilitar a passagem de pessoas e automóveis através de cursos d'água, vales e vias de tráfego. Conforme Alves (2012), elas são de extrema



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

importância para o desenvolvimento social e econômico das diferentes regiões brasileiras, integrando as cidades e reduzindo as distâncias.

Assim como as edificações, as OAEs são dimensionadas de forma a atender os critérios relacionados aos Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS) (ALMEIDA, 2006). Dentre os diversos desafios para a construção de grandes pontes, a principal dificuldade é a de construir uma estrutura que seja capaz de suportar as vibrações causadas por diversos fatores como terremotos, ventos e cargas dinâmicas. No caso da ação de cargas móveis no tabuleiro de pontes com extremidade em balanço, estas podem ocasionar sérios danos à estrutura, desconforto aos usuários e uma fadiga precoce dos elementos da estrutura.

Segundo Alves (2012), as OAEs são construções que estão sujeitas à ação de diversas manifestações patológicas. As manifestações patológicas se dão devido ao seu uso contínuo, falta de programas preventivos de manutenção, erros de projeto ou execução, deterioração natural dos materiais ou devido a agentes externos.

A Cartilha Manutenção das Obras de Arte Especiais do CREA-RS (TCE, 2015) afirma que a ausência de manutenção causa inúmeros prejuízos econômicos e de segurança. Logo, para realizar corretamente as intervenções, deve-se primeiro detectar os danos e suas causas, sendo necessários procedimentos de inspeção e avaliação que dependem do tipo de construção e do porte da obra.

A motivação do estudo do uso de estaca Mega em reforço de OAEs é devido ao fato de ser um assunto de grande importância acadêmica e de apresentar um número de publicações bastante reduzido. Donadon (2009) atribui a escassez de bibliografia sobre o assunto aos responsáveis pelas obras, que não se sentem à vontade em divulgar os problemas e soluções adotadas dentro dos canteiros.

Este trabalho é dedicado ao estudo de caso de uma Obra de Arte Especial, mais precisamente da ponte situada sobre o córrego Pilões, na BR-365, no estado de Minas Gerais, cuja vibração no modo vertical (da superestrutura em balanço) causou desconforto nos usuários e manifestações patológicas no acesso. Foram utilizadas fotografias registradas *in loco* na inspeção da ponte, bem como um estudo dos fatores que influenciaram o surgimento das manifestações patológicas encontradas e do método utilizado para o reforço.

2. Referencial Teórico

2.1 Elementos constituintes

Os elementos que constituem uma OAE são diversos e variam de acordo com o sistema estrutural e a época de concepção e execução. No que se refere à transição entre o tabuleiro e o acesso da obra, os principais elementos são os encontros, lajes de transição, juntas de dilatação e aterros de acesso.

Vitório (2015) classifica os encontros de pontes como os responsáveis pela ligação entre a OAE e a rodovia. De acordo com o Manual 698 do DNER (BRASIL, 1996), os encontros têm função de conter os aterros e, quando representam apoios extremos, estrutural. No primeiro caso, trata-se de encontros cortinas e no segundo, encontros portantes. No caso dos aterros de acesso, Vitório (2015) os define como elementos essenciais para a funcionalidade e segurança da obra, tal como para a integridade dos usuários.

As lajes de transição, por sua vez, têm como objetivo promover entradas e saídas mais suaves nas OAEs e são indicadas para todas as obras, conforme Manual 698 do DNER (1996). Já as juntas de dilatação são as aberturas que representam as descontinuidades das estruturas como, por exemplo, entre o tabuleiro e a rodovia. Essas permitem movimentações controladas como, por exemplo, de expansão e retração térmica.

A ausência ou falta de funcionalidade dos elementos supracitados acarreta problemas para a OAE. Nos casos em que a compactação do aterro não é realizada de maneira adequada ou a laje de transição não é executada, o acesso da obra fica sujeito ao surgimento de degraus ou ressaltos. Estes ocorrem devido à compactação inadequada, presença de solo de baixa resistência ou vibração causada pela passagem de veículos, afetando o conforto e infligindo riscos ao usuário.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

De acordo com Vitório (2015), as pontes antigas eram projetadas sem dispositivos de proteção nos taludes. Nesses casos, os aterros de acesso são bastante vulneráveis à erosão, seja pela ação de cheias ou de outros fatores, como também são mais susceptíveis à ruptura. Em alguns casos, a obra precisa ser parcialmente ou totalmente interditada e isso traz diversos prejuízos econômicos e sociais.

2.2 Pontes com extremidade em balanço

Muitas Obras de Arte Especiais são construídas com as suas extremidades em balanço, ou seja, com encontros que não exercem função de apoio em suas extremidades. Vitório (2015) chama atenção para essa situação, apontando a excessiva movimentação do balanço, a locação dos aterros muito próxima à calha dos rios e a má compactação como os principais problemas. Este último se deve à ordem executiva, em que os aterros são executados após a finalização da estrutura.

2.3 Vibração em pontes

De acordo com Curi (2015), vibração é o nome dado ao fenômeno dinâmico que é manifestado em sistemas físicos e que consiste no movimento com amplitudes de deformação variável em torno de uma dada configuração estática de equilíbrio.

As vibrações podem ser livres, isto é, determinadas pelas características internas do sistema como massa, amortecimento e rigidez ou vibrações forçadas, gerados sob a ação de carregamentos externos.

Quando um veículo passa por uma ponte ou viaduto, gera-se uma vibração na estrutura. Trata-se de um fenômeno esperado e desejado, uma vez que a completa rigidez do sistema culminaria em maior fadiga dos materiais e, conseqüentemente, no colapso da estrutura. Entretanto, existem normas que especificam os limites de vibração para uma estrutura, de forma a proteger a estrutura e os usuários.

Almeida (2006) indica que níveis elevados de vibração em pontes e viadutos podem prejudicar a durabilidade da estrutura e causar uma deterioração precoce, sendo isso resultado de critérios de projeto pouco adequados. Diferentemente da situação anterior, Moutinho (2007) chama a atenção para o mau funcionamento quanto aos requisitos de serviço. Nesse caso, a ação das cargas móveis nas OAEs pode ultrapassar os níveis aceitáveis de vibração para humanos, causando não só desconforto, mas também implicações ao nível de saúde e segurança dos usuários.

2.4 Estaca Mega

Moreira (2018) conceitua os reforços de fundação como uma intervenção que visa melhorar o desempenho do sistema solo-fundação-estrutura, sendo realizada quando o sistema atual é inadequado para as cargas atuantes ou quando há um aumento dessas cargas.

Embora se trate de uma técnica muito difundida, o universo científico carece de publicações que abordem a utilização de estacas Mega, também conhecidas como estacas prensadas ou estacas de reação. Essa modalidade de estacas se caracteriza pela cravação de segmentos através de um equipamento hidráulico que reage contra a própria estrutura ou contra alguma estrutura improvisada, conforme Figuras 2 e 3. Esses segmentos podem ser de concreto ou aço e de diferentes geometrias. Quando os esforços exercidos sobre a construção e sobre o solo se igualam, a cravação é dada como finalizada, uma vez que o deslocamento é interrompido. A sequência executiva pode ser verificada na Figura 4.



Figura 2 – Instalação de estaca-Mega (adaptado de Donadon (2009)).

Figura 3 – Instalação de estaca-Mega (adaptado de Donadon (2009)).

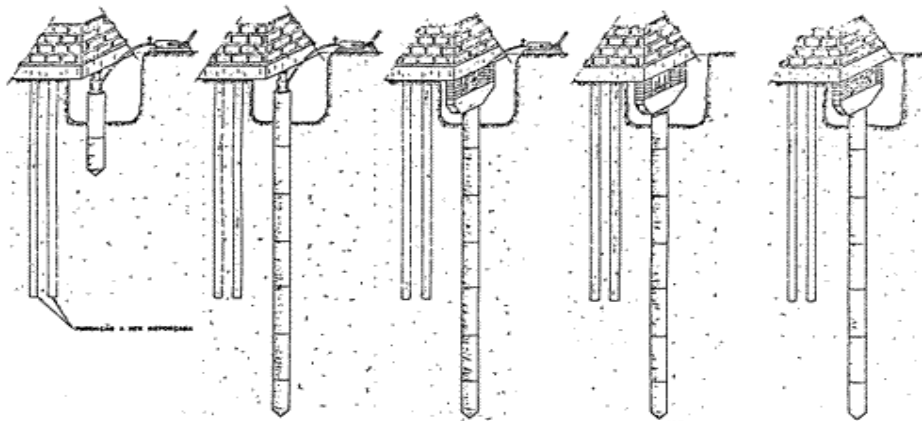


Figura 4 – Sequência executiva da estaca-Mega. (Blog Construção Civil (2012)).

Junqueira (1995, apud DONADON, 2009) afirma que o primeiro registro, no Brasil, do uso de estacas prensadas é datado de 13 de novembro de 1935. Segundo ele, a empresa do Engenheiro Edgard Frankinoul utilizou tubos de aço recuperáveis e denominou as estacas utilizadas de “Estacas Mega”. Na atividade realizada no Brasil, a empresa instalou as estacas como reforço de fundação utilizando como reação o prédio da Cia. Antártica do Rio de Janeiro, onde foram executadas 62 estacas com diâmetro de 27,5 cm. Segundo Donadon (2009), a principal aplicação das estacas Mega de concreto é em reforço de fundações.

Dentre as vantagens das estacas prensadas pode-se destacar a possibilidade de execução em locais estreitos e de difícil acesso a pessoas e equipamentos, isenção de vibrações durante a cravação, simultaneidade ao uso da edificação, aumento imediato da segurança da obra e limpeza durante a operação, uma vez que não se utiliza água durante o processo.

3. Estudo de Caso

3.1 Identificação da obra

O estudo de caso é referente à Ponte sobre o Córrego Pilões, localizado no km 745,28 da BR-365, próxima à cidade de Ituiutaba/MG. Trata-se de uma obra com 56,70 m de extensão, com 5 vãos, sendo 1 vão central de 17,12 m, 2 vãos de 15,22 m e 2 balanços extremos de 4,57 m. O corte longitudinal da obra pode ser verificado na figura 5.

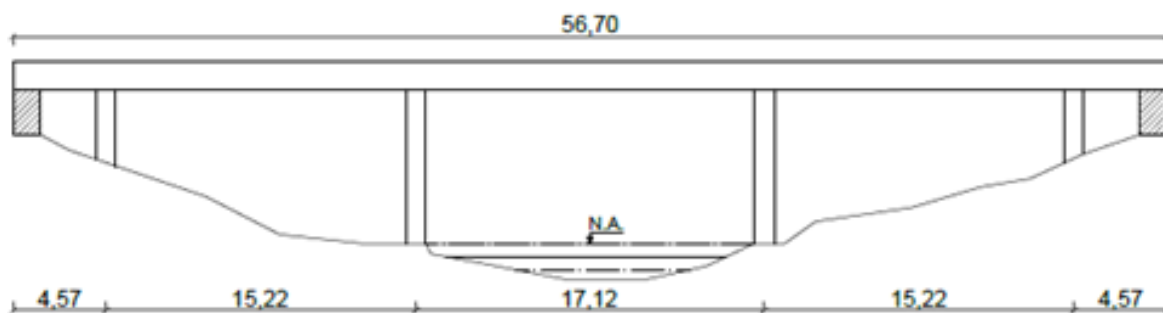


Figura 5 – Corte longitudinal.

A OAE apresenta 10,00 m largura, com pista simples e sem faixas de acostamento. Conforme as características apresentadas no corte transversal da Figura 6 e de acordo com o Manual 709 do DNIT (2004), a ponte se encaixa no padrão de estruturas dimensionadas para o Trem tipo TB-36, projetadas e executadas entre 1960 e 1975.

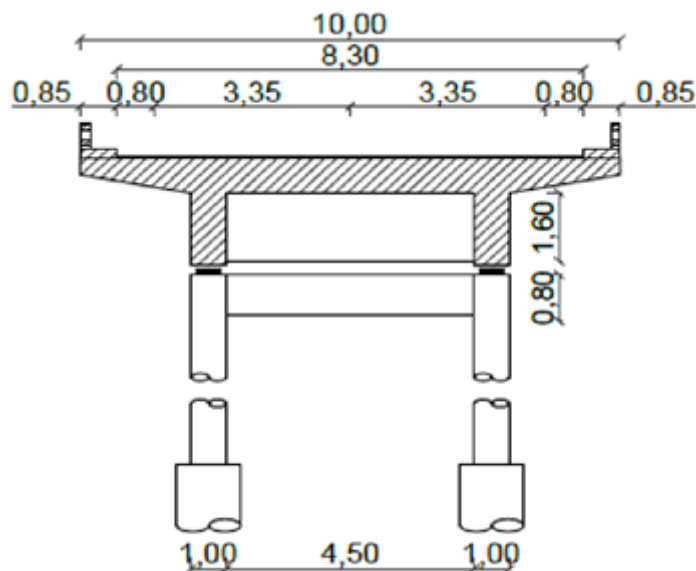


Figura 6 – Corte transversal.

Além das medidas geométricas, outras características que enquadram a obra na classificação são a presença de guarda corpos de concreto como barreiras, as transversinas em contato com a laje e a ausência de pingadeira. A estrutura e os principais elementos da ponte podem ser verificados pelas Figuras 7 e 8 a seguir.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



Figura 7 – Vista lateral da ponte.

Figura 8 – Vista inferior da ponte.

3.2 Manifestações patológicas observadas e suas correções

Não há existência de literatura correlatada, informações e sugestões sobre o problema em estudo. Portanto, devido ao fato da não divulgação dos problemas pelos responsáveis das obras, serão apresentadas as possíveis manifestações patológicas que ocorreram, as correções adotadas pelos projetistas e demais informações relevantes para o caso.

A Figura 9 apresenta o esquema do comportamento do conjunto de esforços atuantes e a estrutura. Percebe-se, através da Figura que os aterros das extremidades das pontes exercem um acréscimo de carga que geram esforços nas fundações (causando deslocamentos transversais), nas cortinas e no próprio aterro (recalque).

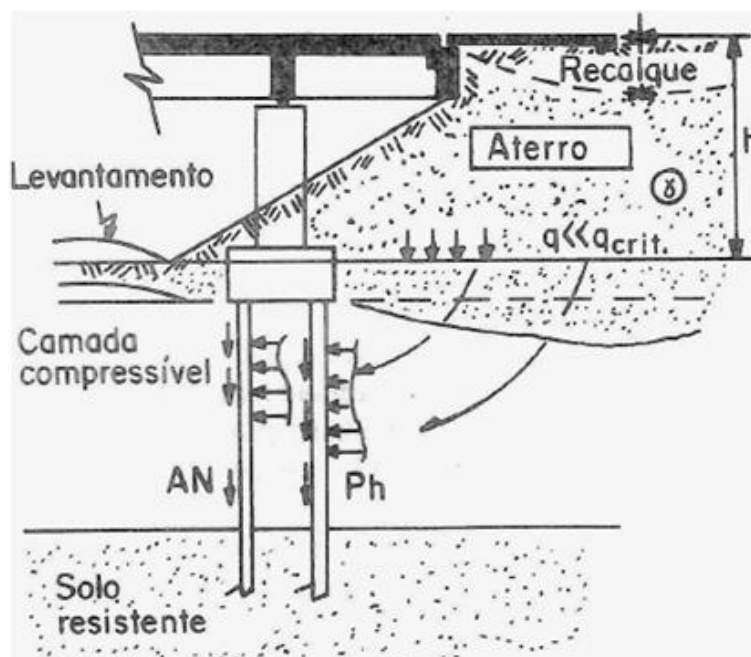


Figura 9 – Esquema comportamento esforços x estrutura (Vitório (2015)).

Conclui-se que, quando o aterro é feito com material de baixa resistência, como é o caso de solos moles, o solo apresenta grande compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento. Dessa maneira, ressalta-se a



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

importância da laje de transição para diminuir os recalques e a proteção do talude para garantir a estabilidade do maciço.

3.2.1 Vibração

A ponte em questão apresentava vibração excessiva em uma de suas extremidades. Diante da necessidade de enrijecer a estrutura, os projetistas adotaram a instalação de estacas Mega como medida corretiva. Nesse caso, a estaca de reação constitui-se como um atenuador dinâmico (contrabalanceando o movimento da ponte) e foi implantada diretamente na superestrutura da OAE.

A estaca Mega foi inserida com a finalidade de inibir as vibrações que ocorriam no tabuleiro devido ao balanço associado a um aterro de acesso flexível. Sabe-se que o processo de vibração está correlacionado à redução do índice de vazios do aterro, alterando a configuração das partículas de solo e gerando assim o abatimento do talude em queda livre.

3.2.2 Recalque nos encontros

Devido à ausência de laje de transição no encontro e as vibrações apresentadas no tabuleiro em balanço, associado à transmissão de carga da estrutura para o aterro de acesso, a inserção da estaca Mega permitiu amenizar os recalques na transição acesso-ponte. A Figura 10 a seguir é referente à transição acesso-ponte.



Figura 10 – Transição acesso-ponte.

Conforme manifestação patológica apresentada na Figura 10 percebe-se que a OAE em questão não possuía laje de transição, o que justifica o abatimento do aterro, evidenciado pela fissura transversal no pavimento da ponte. Como medida corretiva, deve-se executar a laje de transição, com ao menos de 25 cm de espessura e comprimento não inferior a 4 m, conforme recomendação do Manual de Projeto de Obras-de-Arte do DNIT (BRASIL, 1996).

3.2.3 Erosão no encontro da ponte

Com a associação da má compactação da infraestrutura do pavimento na proximidade com o acesso da ponte e da ação do tempo, ocorre a acomodação do solo. Com isso, podem ser gerados recalques e, quando não se apresentarem proteções adequadas, podem ocorrer processos erosivos, trazendo um transtorno ainda maior aos usuários.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

As Figuras 11 e 12 a seguir apresentam as estacas Mega instaladas na ponte, além de ser possível verificar o aterro de acesso. A cortina e a ala apresentam locais sem o contato com o solo, indicando uma erosão localizada ou fossa de erosão, e não há proteção adequada no talude de acesso. Como medidas preventivas, poderiam ter sido adotadas soluções como muro de gabião, enrocamento e rip-raps.



Figura 11 – Estacas Mega – Lado direito.

Figura 12 – Estacas Mega – Lado esquerdo.

Dessa maneira, pode-se verificar por meio dos desenhos esquemáticos das Figuras 13 e 14 a comparação da situação *a priori* e *a posteriori* à intervenção.

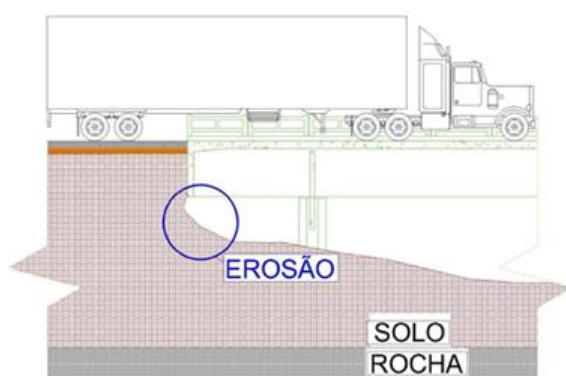


Figura 13 – Desenho esquemático da situação prévia da ponte.

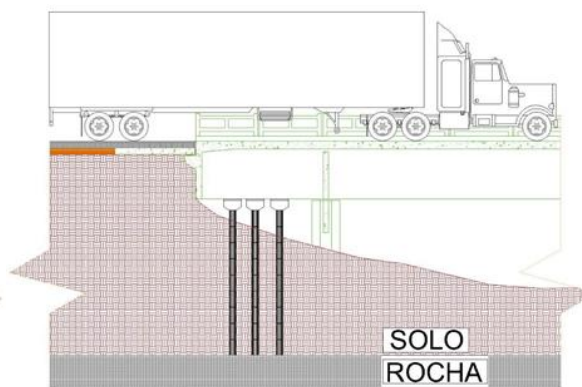


Figura 14 – Desenho esquemático da ponte após a execução de estacas Mega.

4. Considerações finais

Conforme mencionado, as pontes em que o sistema estrutural é constituído por balanços em suas extremidades são mais vulneráveis a problemas no aterro de acesso e de vibração excessiva. Além disso, a ausência de lajes de aproximação constitui-se como um gerador de manifestações patológicas no acesso da obra.

No caso da Ponte sobre o Córrego dos Pilões, não foi diferente. A OAE, que não possui encontros portantes, mas sim encontros cortinas, apresentou ao longo de sua utilização erosão localizada no talude e abatimento do aterro no acesso da obra. Além disso, havia também a ocorrência de vibração excessiva em um dos encontros, o que além de causar o desconforto do usuário é um fator agravante para as manifestações patológicas citadas no aterro.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Conforme discutido por meio do estudo de caso, a utilização de estacas Mega foi bem sucedida. O aumento da rigidez da estrutura após a instalação das estacas tornou a movimentação da mesma imperceptível para os usuários. Além disso, a intervenção cessou com a deterioração do aterro. Por outro lado, não foi executada a laje de aproximação, o que não resolveu o problema do abatimento do acesso.

Referências

- ALMEIDA, R. S de. Análise de Vibrações em Pontes Rodoviárias Induzidas pelo Tráfego de Veículos sobre Pavimentos Irregulares. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.
- ALVES, L.F. Obras-de-Arte Especiais BR-267/MG: Patologias x Fatores Influentes. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Juiz de Fora, 2012.
- BLOG CONSTRUÇÃO CIVIL. Disponível em: <<https://construcaociviltips.blogspot.com/2012/03/estacas-mega.html>>. Acessado em: 12 de janeiro de 2020.
- BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais. Rio de Janeiro, 1996. 225p. (IPR. Publ., 698).
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Pontes Rodoviárias. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 253 p. (IPR, Publicação 709).
- CURI, A. P. Vibrações em tabuleiro de ponte sob ação dinâmica de vento turbulento. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- DONADON, E. F. Comportamento de Estacas “Mega” de Concreto, Implantadas em Solo Colapsível. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.
- MOREIRA, C. M. Análise e Proposta de Reforço de Fundação Devido às Patologias Apresentadas em um Edifício Residencial. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018.
- MOUTINHO, C. M. R. Controlo de Vibrações em Estruturas de Engenharia Civil. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Porto, 2007.
- TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO (Rio Grande do Sul). Cartilha de Manutenção de Obras de Arte Especiais (OAE). Porto Alegre, RS: TCE, Agosto 2015. Assunto: Inspeção de pontes.
- VITÓRIO, J. A. P. Fundamentos da Erosão nas Fundações de Pontes e nos Aterros de Acesso. Notas de aula. Escola Politécnica de Pernambuco. Recife, 2015.