

Danos e Acidentes Estruturais Causados pela Erosão e pelas Cheias nas Fundações e nos Aterros de Acesso de Pontes Rodoviárias

José Afonso Pereira Vítório¹

Resumo

A erosão representa uma das maiores causas dos problemas que acontecem nas fundações e nos aterros das pontes, podendo ser considerada responsável por significativa quantidade dos colapsos estruturais desses tipos de obras, tanto no Brasil como em todo o mundo.

Neste artigo são abordados de forma resumida os principais tipos de erosão que ocorrem nos leitos dos rios sob as pontes, destacando as causas e as respectivas consequências sobre as fundações de pilares e encontros. Também é analisada a questão dos aterros de acesso nas extremidades das pontes, que se constituem em elementos especialmente vulneráveis à erosão, principalmente durante a ocorrência de grandes cheias.

Após a análise dos aspectos conceituais relacionados ao fenômeno da erosão e aos seus efeitos danosos sobre as Obras de Arte Especiais, são mostrados alguns exemplos de pontes localizadas em rodovias de Pernambuco que sofreram graves avarias causadas pelo solapamento das fundações, resultando em casos de colapso estrutural parcial ou total dessas obras. São ainda exemplificadas situações de ruptura dos aterros de acesso que aparentemente já passavam por um processo erosivo e não resistiram à ação de cheias nos rios, provocando sérios acidentes geotécnicos e estruturais, além de grandes transtornos ao tráfego nos trechos das rodovias onde as pontes estavam localizadas.

Ao final do texto são apresentadas algumas recomendações para a melhoria dos procedimentos nas fases de projeto, de construção e de manutenção, objetivando evitar os graves problemas estruturais e funcionais decorrentes da erosão nas fundações das pontes rodoviárias brasileiras. Tais problemas além de acarretarem riscos à incolumidade dos usuários, também implicam, na maioria das vezes, em limitações de uso e até na interdição de pontes, com consequências danosas à sociedade e ao setor produtivo nacional, que muito dependem do transporte rodoviário.

Palavras-chave: Pontes; Erosões; Fundações; Estruturas.

1 Introdução

A erosão é um fenômeno muito complexo cujos efeitos sobre uma ponte podem resultar em danos significativos e até no colapso estrutural da obra. Os pilares e encontros dentro da calha do rio constituem obstáculos que modificam o mecanismo da correnteza, aumentando a velocidade, a vorticidade e a turbulência, gerando cavidades (ou fossas) de erosão que podem causar o solapamento das fundações, especialmente durante as grandes precipitações e cheias, quando os danos decorrentes do processo erosivo são bastante ampliados e acelerados. As pontes mais antigas e carentes de manutenção são as que mais sofrem esses efeitos danosos. Outra questão a considerar é a grande vulnerabilidade dos aterros de acesso às chuvas intensas e às cheias que quase sempre resulta na destruição parcial ou total desses maciços de terra.

2. A Erosão nas Fundações de Pontes

Nas pontes acontecem geralmente três tipos de erosões, inclusive simultaneamente:

- a) erosão generalizada no leito do rio no longo prazo, a montante, a jusante ou sob a ponte;
- b) erosão de contração causada pelo estreitamento da seção transversal de escoamento, aumentando a velocidade e a capacidade erosiva da água;
- c) erosão localizada (fossa de erosão) que se desenvolve em torno dos pilares e encontros.

A Figura 1 mostra os tipos de erosão que ocorrem junto a uma ponte. Na Figura 2 são ilustrados os efeitos da erosão localizada nas fundações.

Mesmo considerando que todo rio sofre erosão no seu leito e que a própria ponte cria obstáculos

¹ Engenheiro Civil, Doutor em Estruturas/Vítório & Melo Projetos Estruturais e Consultoria Ltda/afonsovitorio@gmail.com



Figura 1 – Tipos de erosão que ocorrem em uma ponte (Fonte: PATRÍCIO, 2012).

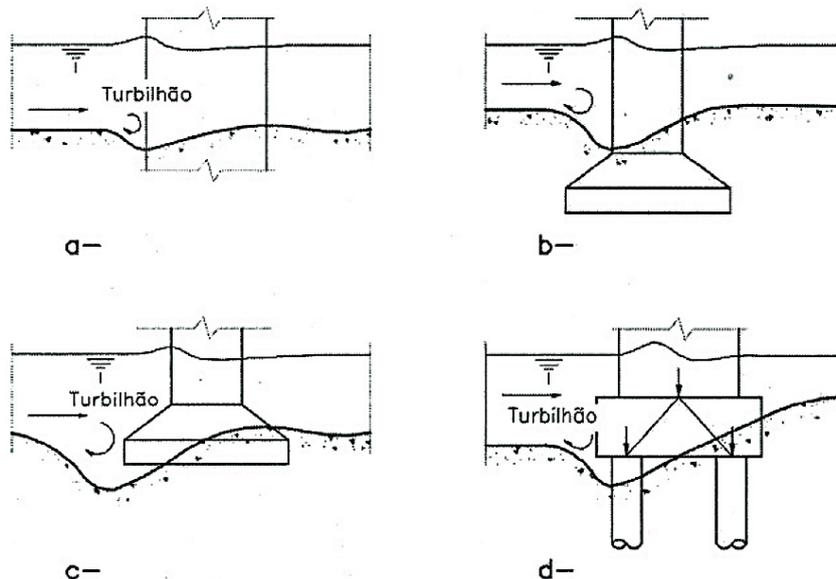


Figura 2 – Efeitos da erosão localizada nas fundações de uma ponte (Fonte: GUSMÃO FILHO, 2003).

ao escoamento da água, é possível identificar alguns fatores que influenciam o aumento da intensidade do fenômeno e também das suas consequências. São eles:

- intensidade e direção do escoamento;
- altura do escoamento;
- dimensões dos sedimentos do leito do rio;
- uniformidade dos sedimentos;
- forma dos pilares;
- ângulo entre o escoamento e os pilares;
- seção de vazão insuficiente;
- locação inadequada da ponte;
- excesso de pilares na calha do rio;
- fundações de pilares e encontros mal conce-

- bidas e/ou executadas com profundidade insuficiente;
- modificação do leito original do rio.

3. A Erosão nos Aterros de Acesso

Observa-se, com certa frequência, a ruptura parcial ou total dos aterros nas cabeceiras das pontes. Isso ocorre devido às perturbações do equilíbrio das terras junto a essas discontinuidades do maciço estradal e à infiltração de água entre o terrapleno e a estrutura, situação típica das cheias.

Os aterros de acesso são, portanto, elementos vulneráveis que muito contribuem para a ocorrência de acidentes estruturais, especialmente durante as cheias nos rios, quando são evidenciadas falhas construtivas, de projeto e de manutenção como:

- falta de adequada compactação do maciço e dos taludes;
- deficiências (ou até a ausência) da proteção e da drenagem dos taludes;
- concepção inadequada dos encontros;
- ausência de lajes de transição (nas pontes mais antigas).

Tais falhas se tornam mais graves nos casos

das pontes sem encontros (com as extremidades em balanços), cujos aterros de acesso são ainda mais vulneráveis pela deficiência da compactação do maciço e fragilidade dos taludes, muitas vezes construídos dentro da calha do rio. As saias dos aterros sofrem erosões ao longo do tempo e são geralmente destruídas durante grandes precipitações e cheias. Outro fator que contribui para o surgimento de danos é a deformação dos balanços do tabuleiro sobre o maciço, ocasionando vibrações e infiltrações no corpo do aterro.

A Figura 3 mostra o detalhe de uma ponte com tabuleiro em balanço. Na Figura 4 está exemplificada uma situação típica de erosão dos taludes de um aterro de ponte com extremidades em balanço.

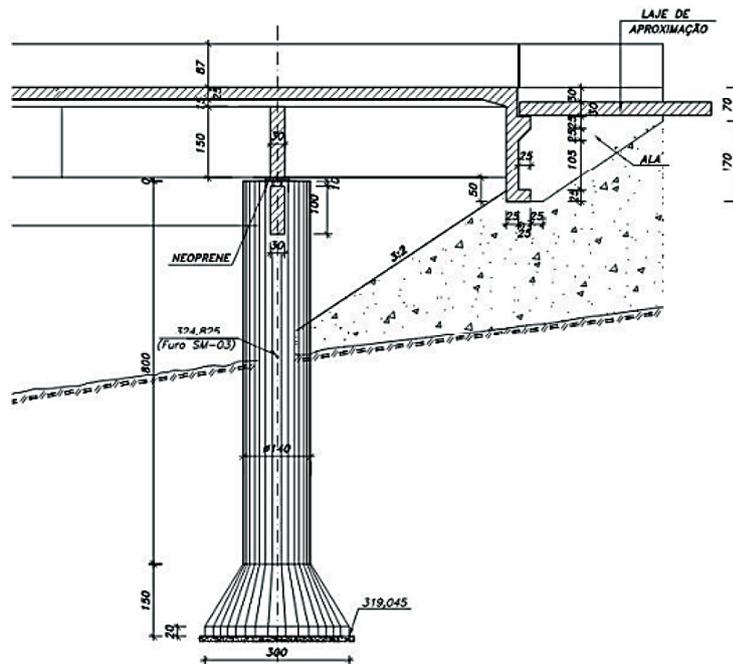


Figura 3 – Detalhe do aterro de acesso na transição entre a rodovia e uma ponte com extremidades em balanço (Fonte: VITÓRIO, 2015).



Figura 4 – Destruição causada pela erosão nas saias do aterro de acesso de uma ponte (Fonte: VITÓRIO, 2015).

4. Ação das Cheias Sobre as Pontes

As cheias representam um fenômeno com capacidade de produzir graves danos em uma ponte por causa da rápida elevação do nível da água, associada a grandes descargas e velocidades.

A grande intensidade da força de arrasto aumenta o poder erosivo da água, que atinge maiores profundidades no leito do rio, causando o solapamento das fundações e criando uma situação que pode provocar a ruptura estrutural da ponte. O poder de destruição de uma cheia é geralmente ampliado por deficiências do projeto, falhas de construção e ausência de manutenção.

A pressão dinâmica que atua na estrutura das pontes, como uma ação transversal nos pilares e encontros, depende da velocidade da correnteza, da forma do pilar e da parte exposta à água, conforme a expressão seguinte:

$$P = kV^2(kN / m^2) \quad (1)$$

onde:

P = pressão dinâmica da água.

k = coeficiente determinado experimentalmente.

V = velocidade da água corrente.

Na Figura 5 estão indicados os valores de k que constam da literatura para algumas formas mais usuais de pilares de pontes.

5. Danos e Acidentes Estruturais

A seguir são apresentados alguns casos de pontes localizadas no Estado de Pernambuco que sofreram danos e/ou colapsos estruturais causados pela erosão, especialmente durante a ocorrência de cheias.

Os casos estão divididos entre aqueles que foram originados pelo solapamento das fundações e os que foram causados pela ruptura dos aterros de acesso.

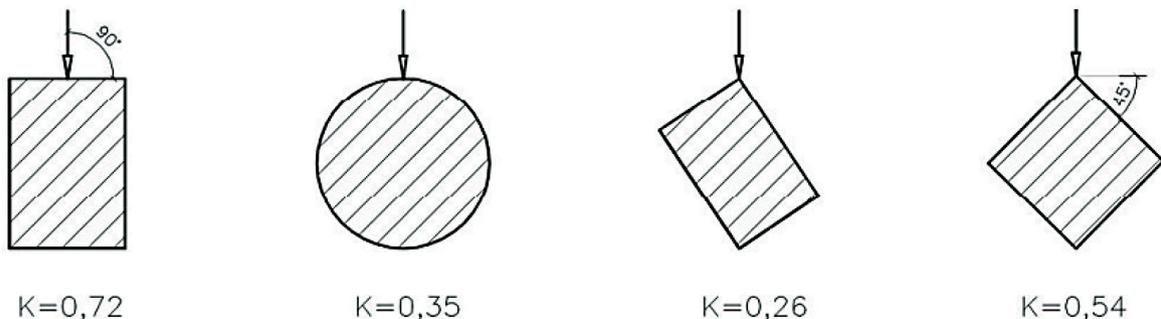


Figura 5 – Valores do coeficiente k para diferentes formas de pilares.

5.1. Danos e Acidentes causados pelo solapamento das fundações

5.1.1. Ponte na rodovia PE-230

Esse caso refere-se a uma ponte que quase sofreu colapso estrutural por causa de uma grande erosão do solo pedregulhoso sob a fundação de um dos encontros, conforme mostra a Figura 6. Por se tratar de uma rodovia do interior com pouco fluxo de veículos, o problema permaneceu despercebido durante anos até ser descoberto e ser solucionado com a realização de estudos geotécnicos e hidrológicos que determinaram o reforço da fundação do encontro, a regularização do leito do rio e o restabelecimento da seção de vazão sob a ponte.



Figura 6 – Grande erosão na fundação do encontro (Fonte: VITÓRIO, 2007).

5.1.2. Ponte em rodovia de acesso à cidade de Maraiá-PE

Essa ponte, cujo sistema estrutural era constituído por tabuleiro metálico com vãos isostáticos apoiados sobre pilares-parede de concreto, tinha fundações superficiais e 30 anos de construída quando sofreu a ação de uma grande cheia. A pressão dinâmica causada pela força de arrasto provocou esforços de

grande magnitude nos pilares e o solapamento das sapatas, causando o colapso da obra que foi demolida e substituída pelo fato de não ter mais condições de ser recuperada e reforçada. Um fator que contribuiu de forma determinante para o grande poder de devastação da cheia sobre a estrutura da ponte foi o estrangulamento da seção de vazão pela grande quantidade de pilares no leito do rio. Na Figura 7 está ilustrado o que restou da ponte após o colapso.



Figura 7 – O que restou da ponte após a ruptura estrutural (Fonte: VITÓRIO, 2007).

5.1.3. Ponte na área urbana da cidade de Bezerros-PE

Esse acidente estrutural era bem previsível pelo fato de a ponte com 30 m de comprimento, dividido em dois vãos de 15 m, já apresentar sinais evidentes de deslocamentos causados por recalque em um dos encontros. Durante a ocorrência de uma cheia em 2000 a obra, na ocasião com 60 anos de construída, entrou em colapso pelo solapamento das fundações do encontro avariado, causando grandes transtornos ao tráfego por se tratar de um dos principais acessos ao centro da cidade.



Figura 8 – Situação geral da ponte com grandes danos em um dos encontros (Fonte: VITÓRIO, 2007).

A Figura 8 mostra a ponte em péssimo estado de conservação e com grandes danos em um dos encontros. Na Figura 9 a ponte já sofreu colapso estrutural no vão apoiado no encontro danificado, cuja fundação solapou durante a cheia. As condições da ponte após o colapso não permitiram a sua recuperação e por isso foi substituída por uma obra nova.



Figura 9 – Desabamento do vão apoiado no encontro danificado (Fonte: VITÓRIO, 2007).

5.2. Danos e Acidentes causados pelos aterros de acesso

A ruptura dos aterros de acesso é responsável por significativa quantidade de acidentes estruturais em Obras de Arte Especiais que muitas vezes necessitam ser parcialmente ou totalmente interditadas até que os aterros sejam reconstruídos. A seguir estão relacionados e comentados alguns casos de pontes que tiveram o tráfego interrompido pela destruição dos aterros.

5.2.1. Ponte sobre o Rio Una na rodovia PE-096

Trata-se de uma ponte sem encontros que teve os dois aterros de acesso completamente destruídos durante uma cheia do rio Una que atingiu os taludes, totalmente desprovidos de proteção e de drenagem. A ruptura dos aterros causou a interdição do tráfego, que só foi restabelecido após a colocação de pontes provisórias pelo exército, como mostram as Figuras 10 e 11. Posteriormente, os aterros foram reconstruídos de acordo com os procedimentos técnicos adequados para obras de terra mas a ponte continuou vulnerável pelo fato de o projeto original ter sido concebido com o uso de uma tipologia inadequada, no que se refere à proteção das extremidades.



Figura 10 – Aterro destruído e ponte provisória em um lado da ponte (Fonte: VITÓRIO, 2015).



Figura 11 – Aterro destruído e ponte provisória no outro lado da ponte (Fonte: VITÓRIO, 2015).

5.2.2. Ponte sobre o Rio Una na cidade de Palmares-PE

Trata-se de uma ponte com 90 m de extensão e extremidades em balanço. Durante uma cheia em 2010 os dois aterros de acesso foram totalmente destruídos.

Uma análise do acidente indicou que o comprimento da ponte era insuficiente e que havia estrangulamento da calha do rio, pois os aterros, protegidos por gabiões, ocupavam 45 m dentro do canal, de modo que a ponte deveria ter sido construída com um comprimento mínimo de 135 m. Outro fator que contribuiu para o aumento da intensidade da pressão dinâmica da água foi a grande quantidade de pilares obstruindo a seção de vazão da ponte.

Na Figura 12 pode ser observada a destruição de um dos aterros e a retenção de material sólido pelos pilares. A Figura 13 mostra uma vista aérea da ponte após a destruição dos aterros de acesso.



Figura 12 – Destruição dos aterros e retenção de material sólido nos pilares (Fonte: VITÓRIO, 2015).



Figura 13 – Vista aérea do acidente (Fonte: G1, 2010).

5.2.3. Ponte de acesso à cidade de Tacaimbó-PE

Essa ponte com extremidades em balanços teve os dois aterros destruídos durante uma cheia do Rio Ipojuca, interrompendo totalmente o acesso à cidade. O acidente mostrou que a obra tinha comprimento insuficiente e foi projetada com os aterros dentro da calha do rio. Também ficou evidente a grande vulnerabilidade das pontes com extremidades em balanços, conforme a Figura 14, a qual mostra o avanço da correnteza pelas cabeceiras.



Figura 14 – Destruição total dos aterros de acesso durante uma cheia (Fonte: VITÓRIO, 2007).

6. Conclusões

Os danos e colapsos estruturais causados pelas erosões e pelas cheias em pontes localizadas em rodovias de Pernambuco representaram uma pequena amostra dos problemas existentes nas demais pontes da malha viária brasileira, que também padecem das mesmas deficiências, especialmente durante os períodos de chuvas intensas. Isso pode ser comprovado pelos estragos causados em rodovias de diversas regiões do Brasil pelas fortes chuvas do último mês de janeiro, que provocaram em apenas quatro Estados

(PR, SP, MG e MS) graves danos e destruição de pelo menos 116 pontes, de acordo com notícias amplamente divulgadas pelos meios de comunicação.

De modo geral, as pontes que foram objeto deste estudo já apresentavam há muito tempo sinais de erosões nas fundações, além de deficiência, ou ausência, de drenagem e de proteção dos taludes dos aterros. Na maioria dos casos também existiam não conformidades relacionadas à insuficiência da seção de vazão.

Uma questão que ficou evidente foi a maior vulnerabilidade das pontes com extremidades em balan-

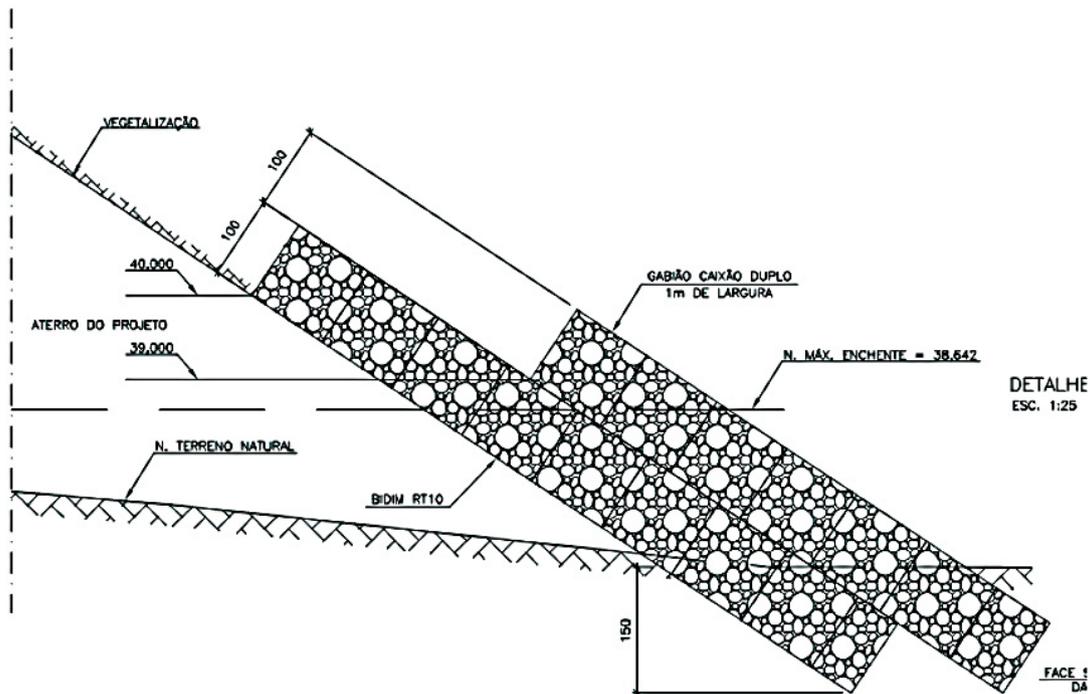


Figura 15 – Detalhe de solução adotada para a proteção dos taludes do aterro de uma ponte contra a erosão (Fonte: VITÓRIO, 2015).



Figura 16 – Taludes dos aterros de acesso revestidos com pedras argamassadas (Fonte: VITÓRIO, 2015).

ço, cujos aterros de acesso se constituem em elementos de grande sensibilidade aos efeitos da erosão.

Sabe-se que a adoção de providências simples, como a realização de inspeções periódicas para verificar a ocorrência de erosões nas margens dos rios e a execução de correções para evitar a evolução do processo, já contribuiria para, pelo menos, mitigar o problema enquanto não fossem realizadas intervenções definitivas. Medidas preventivas também podem ser adotadas para proteger as fundações e estabilizar as saias dos aterros de acesso com a utilização de enrocamento, gabiões, rip-rap, etc., como é o caso da Figura 15 que mostra um exemplo de proteção de talude com a aplicação de vegetação e gabiões. A Figura 16 mostra outro tipo de revestimento de taludes com o uso de alvenaria de pedras argamassadas.

É fundamental, portanto, que os projetos e construções de pontes sejam sempre baseados em estudos hidrológicos, geotécnicos e estruturais consistentes. Manutenções preventivas são também importantes para garantir a segurança e funcionalidade, com especial aten-

ção aos efeitos danosos causados pelas ações variáveis e excepcionais durante os períodos das cheias.

Referências

- GUSMÃO FILHO, J. A. – Fundações de Pontes: Hidráulica e Geotecnia. Editora Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2000.
- PATRÍCIO, L. I. E. – Influência das erosões localizadas no comportamento de estacas em encontros de pontes: Casos de estudo. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior, Portugal, 2012.
- VITÓRIO, J. A. P. – Acidentes estruturais em pontes rodoviárias: Causas, diagnósticos e soluções. II Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, 2007.
- VITÓRIO, J. A. P. – Fundamentos da Erosão nas Fundações de Pontes e nos Aterros de Acesso. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Recife, 2015.