



Reforço de Fundações Diretas em Pontes de Concreto Armado

VASCONCELLOS Vivian, MOTA Carla

Núcleo de Pesquisas em Planejamento e Gestão, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 01 Jun 2019

Revisão: 06 Jun 2019

Aprovação: 20 Jun 2019

Palavras-chave:

Reforço,

Fundações superficiais,

Pontes,

Patologias,

Erosão.

Resumo:

O reforço de fundações superficiais de pontes em concreto armado é um assunto bastante complexo, tendo em vista a necessidade de entender o comportamento estrutural das pontes, assim como a interação entre o solo e os elementos de fundação. Para que as fundações atendam as cargas solicitantes com segurança, é imprescindível a realização de uma investigação geotécnica adequada, a fim de prever uma série de patologias. A execução correta das fundações, atendendo as orientações previstas em norma, também pode ser um fator determinante para prevenção das manifestações patológicas. Executadas com concreto armado, sofrem ainda patologias inerentes ao próprio material e por estarem, em sua grande maioria, localizadas sobre rios, estão sujeitas a erosão, sendo esta a patologia mais comum encontrada neste tipo de estrutura. O presente trabalho aborda as principais patologias que podem ocorrer em fundações superficiais e os tipos de reforços cabíveis para solucionar essas problemáticas.

1. Introdução

É de conhecimento do profissional, da área de engenharia civil, que as fundações são responsáveis em transmitir as cargas estruturais ao solo, não existindo exagero ao dizer que este elemento é primordial para mantermos a segurança e eficiência de qualquer construção [1].

Sendo o solo, um material proveniente de processo contínuo de decomposição de diversas camadas de rocha, sua formação interfere diretamente em suas características mecânicas. Estabelecer uma segurança completa para projetos que envolvem a engenharia geotécnica é algo bastante complexo. A necessidade em soluções empíricas se faz presente em todas as etapas de um projeto de fundação, a fim de

estabelecer uma segurança adequada para as construções.

Por se tratarem de estruturas que se encontram abaixo do nível do solo, as fundações apresentam dificuldades para que seja reconhecido seu mau funcionamento. Geralmente, só é possível avaliar esses problemas quando as manifestações patológicas, como trincas e fissuras, começam a aparecer nos elementos da superestrutura. Encontrar a solução adequada e menos onerosa pode ser fundamental para a viabilidade da obra.

É importante destacar que as pontes de concreto podem ter sido dimensionadas com normas defasadas, levando em conta carregamentos móveis que não condizem a com a realidade atual, o que proporciona

dificuldades ainda maiores na execução do reforço necessário.

2. Desenvolvimento

2.1. Patologia em Fundações

Para abordar as soluções, primeiramente, é necessário relatar os problemas, uma vez que as patologias das fundações são umas das maiores causas de reforço, podendo acontecer por diversos fatores.

Observa-se que a ocorrência das patologias em fundações, tanto no âmbito nacional, como internacional, tem sido reportada com mais frequência. A maioria dos problemas patológicos, encontrados no Brasil, acontece devido à redução de custo, que afeta a qualidade dos serviços atrelados à pressa em construir. Pouco se preocupa em seguir adequadamente as diretrizes previstas em norma, ou seja, realizando os procedimentos corretos antes, durante e depois da execução do projeto, gerando, assim, danos que podem comprometer a segurança das construções. Marinho [2] confirma essa teoria alertando que a falta de preocupação em construir com qualidade e eficiência, pode causar danos irreparáveis, originando desastres de dimensões altíssimas que poderiam ser diminuídos ou evitados com a utilização dos procedimentos corretos.

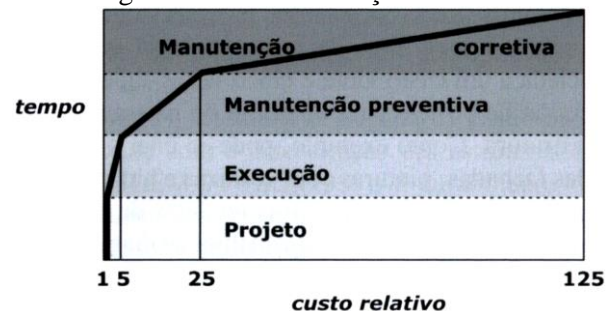
Analisar as patologias existentes em fundações não é algo simples, pois é necessário avaliar a estrutura como um todo, e, após esse estudo, investigar qual a causa do problema. As patologias podem ser identificadas em qualquer etapa construtiva, algumas resolvidas de maneira simples com os reforços superficiais, e outras através de uma solução mais complexa como demolições, escoramento da estrutura e reforços mais caros. Quanto mais cedo for diagnosticado o problema e executado o devido reparo, menor será a perda de desempenho estrutural, incluindo o prejuízo financeiro.

Quando diagnosticada uma patologia, deve-se identificar suas origens e possíveis

mecanismos deflagradores, acompanhar sua evolução através de mecanismos de monitoramento da evolução, como os testemunhos das trincas, fissuras, desaprumos, entre outros.

O processo patológico é evolutivo, tendendo a ficar pior com o tempo e desenvolver outros tipos de patologias decorrentes da inicial. Todas as medidas adotadas a fim de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, com o intuito de minorar a possibilidade de aparecimento de patologias, mesmo que ainda na fase de projeto, é válida, pois pode gerar uma economia significativa para obra. A Lei de evolução de custos, conhecida como Lei de Sitter, confirma essa teoria, mostrando que os custos de correção crescem seguindo uma progressão geométrica de razão cinco. Se a manutenção não for realizada durante as fases de construção, o valor com reparos poderá chegar a uma razão de 125 [3], o que pode ser observado na figura 1.

Figura 1 – Lei de evolução de custos



Fonte: Sitter apud Vitorio [3]

As causas mais relevantes das patologias nas fundações acontecem em consequência da ausência/falha das investigações geotécnicas, falta de conhecimento do desempenho real da interação solo estrutura, problemas relacionados às etapas de construção, quando não há o cumprimento das especificações normativas, e problemas associados ao pós-obra. Em uma análise realizada por Vitorio [4], após investigar 40 pontes rodoviárias federais brasileiras (Quadro 1), aponta, de forma resumida, as patologias apresentadas na infraestrutura destes tipos de pontes.

Quadro 1 – Patologias na infraestrutura de 40 pontes brasileiras
Fonte: Vitório [4]

Tipo de dano	Quantidade De obras	%
Erosão nas fundações de encontros e pilares	18	45,0
Descalçamento das fundações de encontros e pilares	6	15,0
Recalque de fundações de encontros e pilares	5	12,5
Exposição e desconfinamento de estacas	4	10,0
Deterioração do concreto de sapatas, blocos de estacas ou tubulões	10	25,0
Oxidação das armaduras de sapatas, blocos de estacas e cintas	10	25,0
Deterioração de concreto e oxidação de armaduras nos fustes de tubulões	2	5,0
Erosão nos aterros dos encontros	10	25,0

Outro estudo, apresentado por Vitório [3] demonstra, ao inspecionar 100 pontes de concreto armado no Brasil, que dentro desta amostragem, cerca de 36% das fundações foram feitas com sapatas e cerca de 33% das patologias apresentadas, nas 100 obras, foram causadas por erosão.

Os tópicos seguintes apresentam as principais causas que podem motivar as patologias em fundações superficiais.

2.1.1. Investigação Geotécnica

O solo é o responsável por suportar todo o carregamento exercido pela construção. Entender seu comportamento e suas características é fundamental para estabilidade de qualquer estrutura. Uma das maiores causas de reforço estrutural, em fundações, está diretamente relacionada com a falha na investigação do solo ou com a interpretação incorreta do perfil.

Conhecer as características físicas do solo é essencial, não só para determinar o tipo de fundação, mas também prever “acidentes”, como a presença de matacões, presença de água, e vazios que possam intervir no processo construtivo [5].

A ABNT [6] afirma que deve ser realizada uma campanha de investigação geotécnica preliminar para qualquer tipo de edificação, com pelo menos sondagens a percussão, para obter a estratigrafia do solo, posição do nível d’água e o índice de resistência NSPT.

Para pontes, os estudos do solo devem ser feitos em duas etapas, distintas e complementares. Na primeira etapa, a fase anteprojeto, são realizados estudos preliminares a fim de estudar a viabilidade técnica e econômica da obra, comprimento e extensão dos aterros de acesso e definição estrutural, levando em consideração a interação solo-estrutura. Na segunda etapa, são realizadas sondagens complementares e estudos específicos para que seja realizado o projeto de infraestrutura e a análise minuciosa dos fenômenos que causem algum tipo de interferência na estrutura. É imprescindível e obrigatório que tenha uma sondagem no local exato de cada fundação [7].

É recomendado, que sejam executados, pelo menos, dois furos sob cada linha de apoio e com profundidade de furo com no mínimo 8,0 metros [8].

A partir destas recomendações, percebe-se o quanto é complexa a investigação geológica e geotécnica para avaliar o terreno de apoio de uma ponte. O Quadro 2 apresenta os problemas típicos que ocorrem por falta de investigação do solo.

Quadro 2 – Principais tipos de patologias devido à ausência de investigação do solo

TIPOS DE FUNDAÇÕES	PROBLEMAS TÍPICOS DECORRENTES PELA AUSÊNCIA DE INVESTIGAÇÃO DO SOLO
<i>Fundações Diretas</i>	Tensões de contato excessivas, incompatíveis com as reais características do solo, resultando em recalques inadmissíveis ou ruptura.
	Fundações em solos/aterros heterogêneos, provocando recalques diferenciais.
	Fundações sobre solos compressíveis sem estudo de recalques, resultando em grandes deformações.
	Fundações apoiadas em materiais de comportamento muito diferente, sem junta, ocasionando o aparecimento de recalques diferenciais.
	Fundações apoiadas em crosta dura sobre solos mole, sem análise de recalques, ocasionando ruptura ou grandes deslocamentos da fundação.

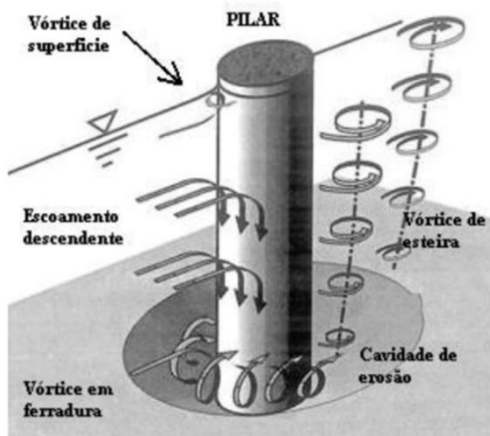
Fonte: Milititsky, Consoli e Schnaid [9]

2.1.2. Erosão ou solapamento

Sendo um dos problemas mais comuns encontrados em infraestruturas de pontes de concreto, a erosão é responsável pela maior parte de acidentes, podendo ocasionar o colapso da estrutura. Entender como funciona esse fenômeno é muito importante.

As localizações dos pilares, dos encontros e das fundações dentro da calha do rio interferem no curso de água. Estes elementos criam uma espécie de obstáculo, que faz com que a velocidade de escoamento da água aumente, provocando um vórtice e uma turbulência, causando cavidades de erosão junto a essas estruturas, o que pode gerar a infraescavação ou o solapamento das fundações (Figura 2). Esse fenômeno é agravado em períodos de cheias ou precipitações elevadas, comprometendo toda a estrutura da ponte, principalmente as mais antigas que, por terem sido construídas em leitos, com o tempo sofrem mudanças de perfil que não são detectadas, devido à falta de inspeções periódicas [10].

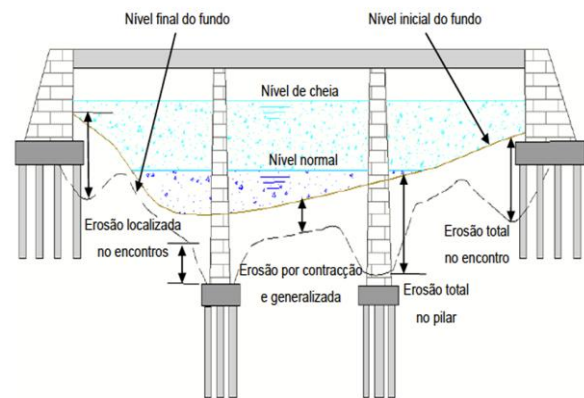
Figura 2 – Influência dos pilares no fluxo da água



Fonte: Cardoso apud Vitorio [10]

Segundo Patrício [11] o processo de erosão pode ser dividido em: erosão generalizada, localizada ou por contração (Figura 3). Além da classificação acima, as erosões podem ser causadas por fatores antropogênicos.

Figura 3 – Tipo de erosões em pontes



Fonte: Patrício [11]

A erosão generalizada acontece independente da presença dos pilares e fundações. É gerada devido aos fenômenos naturais, como assoreamento e desassoreamento do leito do rio, se na trajetória que a água percorre há existência de curvas, configuração do fundo do rio, etc.

Erosão localizada ocorre quando há um obstáculo que interfere no escoamento normal do rio, provocando a retirada dos sedimentos, ocasionando cavidades de erosão.

Erosão devido à contração acontece quando há o estreitamento da seção transversal de escoamento, ocasionando um aumento da velocidade média e intensidade da erosão, devido ao escoamento.

Erosão devido aos fatores antropogênicos tem relação direta às mudanças provocadas pelo homem no leito e nas bacias hidrográficas dos rios, como, por exemplo, a criação de cidades e comércio nas margens dos rios, o que ocasionou a canalização dos seus afluentes, originando instabilidade e os deixando mais propensos à erosão.

2.1.3. Degradação dos materiais

Pelo fato das fundações serem executadas com concreto armado, é importante citar as patologias inerentes aos materiais. A degradação do concreto pode ser motivada por processos de natureza: física, química, mecânica e eletroquímica, o que reduz sua durabilidade gerando um dano progressivo a estrutura.

A maioria destes processos tem relação direta com porosidade e/ou permeabilidade do material, permitindo que uma combinação de fatores como temperatura, umidade, chuva, vento, salinidade, agressividade química, sejam transportados para dentro do concreto [12]. Sabe-se que a água é um dos principais causadores dos processos de degradação, pois ela serve como veículo para transporte dos agentes agressivos, para reduzir a permeabilidade do concreto, além de ser a principal defesa contra qualquer processo físico-químico de deterioração [9] Quanto mais permissivo for o concreto ao transporte de água, gases e outros tipos de agentes agressivos, a probabilidade de ocorrer a degradação do concreto e do aço, que o mesmo deveria proteger, aumentará [9].

O Quadro 3 (Anexo A) apresenta de maneira sintetizada as principais degradações e seus sintomas [13].

2.1.4. Execução das fundações

A preocupação com os processos construtivos pode evitar uma redução significativa das patologias, nessa etapa é primordial uma fiscalização para que seja executado exatamente o que está previsto em projeto. Os problemas na execução das fundações podem estar relacionados a diversos fatores, que vão desde a inexperiência dos profissionais envolvidos a limitações tecnológicas e de equipamentos [14].

Alguns problemas relacionados à execução por Milititsky, Consoli e Schnaid [9] são:

Problemas envolvendo o solo – construção das fundações em solos com diferentes comportamentos, típicos de situações onde há desníveis de terreno, onde o material é retirado de um lado e aterrado em outro para que as fundações sejam construídas na mesma cota; substituição do solo com uso de material inapropriado ou sem a compactação necessária, a fim de substituir solos deficientes e realizar fundações superficiais;

Problemas envolvendo os elementos estruturais da fundação – uso de concreto com valor de tensão característica inferior ao previsto em projeto; inexistência de regularização da base da fundação com lastro de concreto magro, podendo ocasionar na contaminação do concreto e recobrimento inadequado; execução das fundações com dimensões e geometria divergentes ao previsto em concreto; presença de água na cava durante a concretagem, o que pode vir a causar a diminuição da resistência da peça, etc.

2.2. Reforço

O reforço estrutural em fundações é uma medida de correção no sistema de interação fundação-estrutura já existente, visando recuperar segurança, melhorar seu desempenho e/ou atender novas solicitações. Tornam-se necessárias quando as fundações existentes apresentam mau funcionamento, não suportando as cargas atuantes ou, quanto ocorrer um aumento relativo do carregamento e este não puder ser sustentado sem que ofereça riscos e haja o comprometimento da estrutura, aparecendo deformações incompatíveis, causando uma minora aos coeficientes de segurança [15]. Tavares [16] ressalta, também, a necessidade de reforço quando há mudança das características do terreno, como rebaixamento do lençol freático, descompressão do solo, arrastamento dos finos ou uma combinação dos fatores supracitados.

Os agentes causadores de reforço em fundações de pontes estão frequentemente relacionados à capacidade resistente do terreno. As razões que geram a necessidade de reforçar a infraestrutura desse tipo de obra de arte são: a insuficiência do terreno para atender o aumento de solicitações transmitido; anomalias devido à falta de resistência da estrutura; o fenômeno de infraescavação da fundação, geralmente relacionado aos regimes de escoamento ou os cursos dos rios; problemas devidos à inadequação dos materiais utilizados na construção das fundações, para atender as situações as quais

são expostos e, conseqüentemente, a degradação ou erosão destes [17].

Os danos gerados pela ineficiência das fundações podem ser observados diretamente na própria fundação, devido à degradação dos seus materiais, e, decorrente a isso, a perda de sua resistência. No caso do concreto armado, podem ocorrer deformações excessivas, perda de recobrimento do aço, oxidação da armadura, roturas, fissuras, trincas, esmagamentos, entre outros [15].

Reforçar as fundações de uma ponte existente significa uma atividade bastante complexa, pelo fato de envolver uma série de incertezas quanto à real capacidade de carga de tais estruturas, muitas vezes dimensionadas há várias décadas, com a utilização de normas já ultrapassadas e ainda calculadas para suportar carregamentos atualmente defasados. A tais problemas ainda devem ser acrescentados o desconhecimento sobre o projeto original e as dificuldades para a realização de inspeções e ensaios sobre a resistência de materiais enterrados e/ou submersos. [18, pg.40]

É fundamental que o diagnóstico do problema seja preciso, para que escolha do tipo de solução seja a mais adequada possível. Para realizar um bom diagnóstico, é importante registrar os danos ocorridos para possível interpretação dos movimentos das fundações, elaborar uma nova investigação geotécnica e instrumentar a obra para avaliar a intensidade das deformações.

É comum a carência de dados sobre as fundações das construções existentes. A geometria, composição e propriedades dos seus elementos, assim como do terreno de apoio são informações primordiais para uma escolha apropriada do tipo de reforço.

Para solucionar essa problemática, é comum a execução de poços de inspeção (Figura 4), com os tamanhos apropriados para acesso e livre movimento de um homem, que possibilitam observar, além da fundação existente, o tipo de solo mais superficial. Este método de prospecção é o mais eficiente. Por meio deste procedimento, é possível a

inspeção visual direta das fundações, seu estado de conservação e as anomalias, como desagregações de material, o que facilita a compreensão das deficiências comportamentais e podem explicar as causas das patologias da estrutura [14].

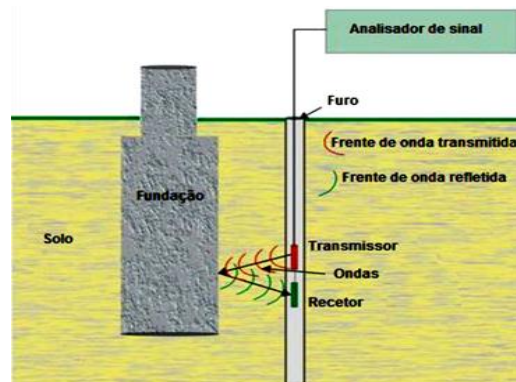
Figura 4 – Poço de Inspeção



Fonte: Sondobase Geotecnia e Meio Ambiente (SD) [19]

Caso não seja possível executar esses poços, por motivos de segurança ou por qualquer outro tipo de dificuldade, pode-se recorrer a outros tipos de procedimentos de prospecção geofísica como, por exemplo, o uso de georadars em furos (Figura 5), uma técnica não destrutiva baseada na emissão e na recepção de radiação eletromagnéticas, que permite detectar com exatidão a localização e a espessura das sapatas [20]. Porém, esse método investigativo não permite a retirada de amostras do solo, tornando a interpretação dos resultados mais difícil ou até mesmo inconclusiva [14].

Figura 5 – Georadar



Fonte: Magalhães [14]

A escolha do tipo de reforço a ser adotado, segundo Hachich [15], depende de algumas condicionantes, que serão analisadas a seguir:

Condicionantes técnicas – deverá haver uma compatibilização entre as condições do solo, estrutura e reforço.

Condicionantes Econômicas – é importante verificar a viabilidade econômica do reforço, ou seja, se o valor de mercado da construção é compatível com reforço a ser executado.

Condicionantes relacionadas à execução e segurança – se é possível o acesso seguro dos profissionais e dos equipamentos para realização do reforço.

Segundo Tavares [16], essas técnicas exigem dos profissionais envolvidos um conhecimento multidisciplinar, ter um *Know-how* apurado em estruturas, e senso crítico para interpretar os parâmetros geotécnicos.

2.2.1. Tipos de Reforço

A escolha do tipo reforço está diretamente relacionada às condicionantes do problema em questão. São inúmeras as técnicas existentes atualmente, dentre elas há a possibilidade de escolha por uma técnica com aprofundamento ou sem aprofundamento.

Caso a escolha seja um método com aprofundamento, pode se optar pela transformação das fundações superficiais em fundações profundas, transformando as sapatas em blocos de coroamento. Caso contrário, a solução pode ser dada pelo: alargamento das fundações, de maneira que a sua área de contato com o solo seja maior e, assim, diminua as tensões, ou, pelo melhoramento do solo a partir de injeções.

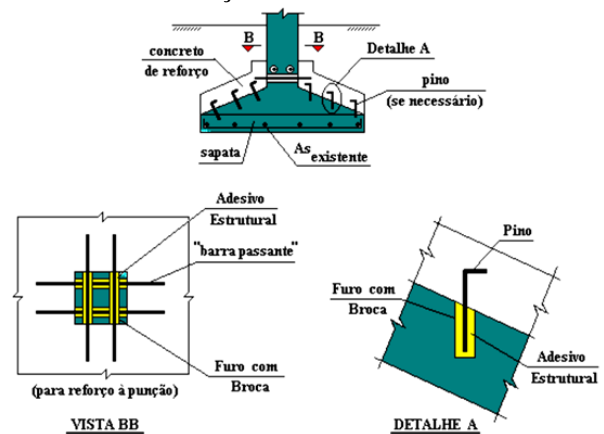
2.2.1.1. Alargamento das fundações

Quando o solo da base da fundação não apresenta resistência satisfatória para sustentar as solicitações que lhe são impostas, pode optar-se pelo alargamento da área de contato solo-fundação. Este procedimento, em geral, somente é aplicável às fundações

superficiais. Tem como principal vantagem sua facilidade de execução e seu custo reduzido, quando comparado a outros tipos de soluções.

Há ocasiões em que o reforço consiste em aumentar a seção do concreto, sem a necessidade de alterar as dimensões da base da sapata, conforme figura 6. Essa técnica é utilizada para solucionar problemas relacionados à flexão, punção e cisalhamento. A aderência entre o concreto antigo e o novo é primordial, usualmente adota-se a colocação de pinos para garantir que essa união. Sugere-se que, nos casos de reforço a punção seja feita a ligação do concreto com o pilar através de barras que, ao atravessar os pilares, realizam essa conexão [21].

Figura 6 - Reforço de sapatas com aumento da seção de concreto



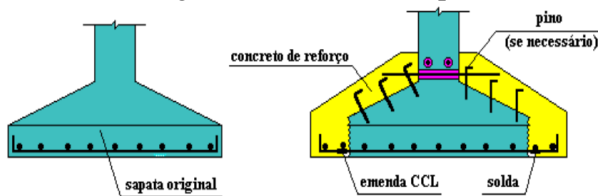
Fonte: Piancastelli [21]

Para conservar ou reduzir os níveis de tensão no solo, se faz necessário o aumento de altura e da área da sapata com o prolongamento da armadura (Figura 7 e 8), que pode ser feito através da escarificação das bordas da sapata até expor, aproximadamente, quinze centímetros de um trecho reto das barras para soldagem ou colocação das luvas (tipo CCL) e para que sejam atendidas as novas solicitações, diminuindo e/ou estabilizando os recalques não previstos gerados pela ineficiência dos elementos de fundação [20].

Segundo Amorim [17], quando se refere a reforços de pontes, esta solução apresenta algumas limitações, como, por exemplo, o leito do rio deve ser reduzido, no momento de

intervenção, de modo a permitir acesso à base das fundações superficiais. Desse modo, e dada à tecnologia disponível hoje em dia, não se recorre atualmente a este método.

Figura 7 - Reforço através do aumento e alargamento da base da sapata



Fonte: Piancastelli [21]

Figura 8 - Exemplo de execução do alargamento da sapata



Fonte: Magalhães [14]

2.2.1.2. Jet Grouting

Historicamente, a técnica de Jet Grouting teve seu início entre as décadas de 60 e 70, no Japão, e começou a ser aplicada no Brasil em 1980 [22]. Tem como característica principal o fato de utilizar injeções de calda de cimento, com alta pressão para desagregar o solo, modificando e aprimorando todas as propriedades geotécnicas originais do terreno, sem que haja a necessidade de escavação prévia.

As injeções, que podem contar ou não com a utilização de água e/ou ar comprimido, são realizadas através de bicos com diâmetros de 2 a 4 mm, localizados na lateral da extremidade de uma composição de hastes, que sobem lentamente em direção a superfície, enquanto realizam um movimento de rotação com velocidade constante. A pressão das injeções atinge em torno de 20 a 50 Mpa e utilizam um ou mais jatos horizontais que podem alcançar à velocidade de até 400m/s [23]. A energia cinética,

resultante da injeção, provoca a desagregação da estrutura do solo, que ao ser misturada com calda de cimento, formam uma espécie de corpos sólidos de solo-cimento, que se assemelham a cilindros e são chamados de colunas de jet grouting, resultando um terreno com melhores características mecânicas e de menor permeabilidade.

O jet grouting é uma prática que pode ser usada para reforçar qualquer tipo de fundações, com exceção das que são muito sensíveis a deslocamentos e cuja carga é transmitida às colunas, antes que estas alcancem a resistência definida em projeto. Em fundações superficiais pode ser utilizado como solução para transferência das cargas para uma camada de solo mais profunda.

Dada a sua gama de aplicações, o jet grouting pode ser utilizado em diversos tipos de construções, como túneis, aterros, reforços de fundações já existentes, pontes, cortinas de contenção, rodovias, entre outros. Tem como diferencial a possibilidade de aplicação em qualquer tipo de solo, inclusive os com valores NSPT inferiores a 30.

No entanto, sua aplicação não é recomendada se o terreno apresenta: solos orgânicos com pH inferior a 5, em virtude da sua agressividade e potencial de degradação da calda; solos muito compactos, pois apresentam dificuldade de execução e pouca eficiência; e em solos com granulometrias muito abertas, devido à dificuldade de se obter uma mistura homogênea e balanceada entre os agregados e o cimento, e pela facilidade de percolação da calda. [17]

Esta técnica é cada vez mais utilizada como método de reforço de fundações, oferecendo excelentes resultados. Ao ser comparada com outras tecnologias, demonstra bastante competitividade devido à versatilidade geométrica, abrangência de aplicação, não sendo preciso realizar escavações, e sua capacidade de realizar trabalhos em locais com dificuldade de acesso e espaços reduzidos. Somando-se a isso, tem como benefícios: seus equipamentos, que podem ser pequenos e não muito pesados além de oferecer vibrações mínimas, o que

garante que uma probabilidade reduzida de causar danos na estrutura em intervenção ou nas estruturas vizinhas [14]. Como pode ser observado na Figura 9 (em ANEXO A).

2.2.1.3. Transformação das fundações diretas em indiretas

Quando as técnicas de reforço de fundação por melhoramento do solo ou aumento da área não podem ser viabilizadas, devido insuficiência do terreno ou até mesmo por questões econômicas, recorre-se a este tipo de solução a fim de transferir as cargas para uma camada de solo mais resistente [24].

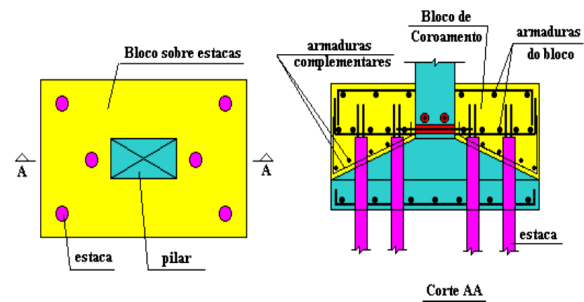
Basicamente, esse método consiste em transformar uma fundação superficial em um bloco de coroamento e, para isso, geralmente, são utilizadas as estacas perfuradas como, por exemplo, estacas raiz. Aproveita-se o mesmo equipamento de perfuração para perfurar o concreto da sapata original.

Geralmente, adota-se a utilização de estacas do tipo raiz, por serem mais convenientes à cravação e não apresentarem problemas, caso haja a necessidade de movimentação dos equipamentos sob a estrutura ou restrições na altura entre as fundações e o tabuleiro da ponte. Cabe ressaltar que outros tipos de estacas exigem grandes equipamentos, não atendendo o espaço útil [3].

Para o dimensionamento do bloco de coroamento deve ser levado em consideração o corte de algumas barras de aço, durante a perfuração da sapata.

O outro fator que precisa ser levado em consideração é a garantia da ligação entre o concreto das estacas e o da sapata existente, sendo este o ponto mais vulnerável deste tipo de reforço. Para tal, é utilizado como solução armaduras complementares e uma nova armadura para o bloco de coroamento, conforme observado na Figura 10, concomitante ao uso das armaduras recomenda-se também o emprego de adesivos estruturais [21].

Figura 10 - Reforço de sapata por cravação de estacas



Fonte: Piancastelli [21]

3. Conclusão

Após a análise das principais patologias em fundações de pontes de concreto armado, pode-se concluir que algumas manifestações patológicas poderiam ser evitadas ainda na fase de projeto, como é o caso das investigações geotécnicas. O desconhecimento das características do solo pode gerar uma enorme gama de consequências negativas para as fundações, que poderiam ser evitados com um estudo preciso das sondagens.

Percebe-se também que o valor gasto com reforço cresce exponencialmente, na medida em que é adiado. Inspeções periódicas poderiam evitar que esse aumento ocorresse, pois seriam verificados os problemas assim que eles começassem a repercutir na estrutura.

Devido à complexidade em reforçar a infraestrutura de uma ponte de concreto armado, foram abordadas as principais técnicas de reforço.

Estudos pertinentes às cheias dos rios e o fluxo das águas são de suma importância para este tipo de obra, patologias provocadas por uma ação da natureza, são mais difícil de ser prevista.

Tendo em vista todo conteúdo exposto, pode-se verificar que para superar tais questões, é necessário seguir todos os procedimentos normativos para execução dos projetos, respeitando o tempo necessário de execução e realizando os investimentos pertinentes a manutenção desse tipo de estrutura.

4. Referências

- [1] VITÓRIO, J. A. P., BARROS, R.M.M.C. Reforço de Fundações de Pontes e Viadutos – Três Casos Reais – Anais do V Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, 2012.
- [2] MARINHO, R. P. Patologia das Fundações: Estudos de Caso. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, 13ª Edição, n. 012, v.01/2017, Julho/2017. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=rafaella-pereira-marinho-31416163.pdf> Acessado em: 01/06/2019
- [3] VITÓRIO, J. A. P. ; BARROS, R.M.M.C. Análise dos danos Estruturais e das Condições de Estabilidade de 100 Pontes Rodoviárias no Brasil – Anais do 3º Congresso Nacional Sobre Segurança e Conservação de Pontes, Porto, Portugal, 2013.
- [4] VITÓRIO, J. A. P. Avaliação do Grau de Risco Estrutural de Pontes Rodoviárias de Concreto – Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, 2008.
- [5] REBELLO, Y. C. P. Fundações: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 4ª Edição. São Paulo: Zigurate Editora, 2008.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6122 – Projeto e execução de fundações, 2ª Edição. Outubro 2010.
- [7] BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Manual de projeto de obras-de-arte especiais. Rio de Janeiro, 1996.
- [8] VITÓRIO, J. A. P. Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão. Recife: CREA-PE, 2002.
- [9] MILITITSKY, J. ; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. Patologia das Fundações, 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.
- [10] VITÓRIO, J. A. P. Erosões nas fundações e aterros de acesso – Ação das cheias sobre as estruturas das pontes. Notas de aula, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2015
- [11] PATRÍCIO, L. I. E. Influência das erosões localizadas no comportamento de estacas em encontros de pontes: Caso de estudo. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2012.
- [12] SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.
- [13] SANTOS, M.R.G. Deterioração das estruturas de concreto armado – Estudo de caso. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2012.
- [14] MAGALHÃES, D. Sistemas construtivos de reabilitação e reforço de fundações, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2014.
- [15] HACHICH, W. at al. Fundações: Teoria e prática. 2ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 1998.
- [16] TAVARES, L. S. N. Reforço Estrutural de Fundações e sua Importância para a Reabilitação e Conservação do Patrimônio Histórico – Trabalho de conclusão de curso (Graduação Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- [17] AMORIM, M. O. Reforço de fundações de pontes antigas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2015.
- [18] VITÓRIO, J. A. P. Pontes e viadutos rodoviários – Conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural. Notas de aula, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

- [19] SondoBase Geotecnia e Meio Ambiente, sd. Disponível em: <http://www.sondobase.com.br/nossos-servicos> Acesso em 01 de junho de 2019.
- [20] COSTA, I. I. M. Consequências de deficientes sistemas de fundação em edifícios. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2015.
- [21] PIANCASTELLI, E. M. Notas de Aula Patologia e Terapia das Estruturas: Reforço com Concreto. Universidade Federal de Minas Gerais, sd.
- [22] RIBEIRO, A. L. S. Técnica de tratamento de solos – Jet Grouting: Acompanhamento de um caso real de estudo – Cais de Santa Apolónia e Jardim do Tabaco. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2010.
- [23] CARLETTO, M. F. W. Jet Grouting (Sistema Monofluido): Um método teórico simplificado para previsão do diâmetro das colunas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.
- [24] NEVES, M.J.N. Técnicas de Recalçamento e Reforço de Fundações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2010.

5. Anexos

ANEXO A

Quadro 3 – Causas, mecanismo e sintomas da deterioração do concreto armado

CAUSA DA DETERIORAÇÃO	MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO		SINTOMAS	AFETA DIRETAMENTE
MECÂNICA	CHOQUES E IMPACTOS		Fissuração e lascamento do concreto; possível perda de armadura	Peça estrutural (concreto + armadura)
	RECALQUE DIFERENCIAL DAS FUNDAÇÕES			
	ACIDENTES IMPREVISÍVEIS			
FÍSICA	DESGASTE SUPERFICIAL	ATRITO	Desgaste superficial do concreto	Concreto
		ABRASÃO EROSÃO		
	CAVITAÇÃO		Fissuração e escamamento do concreto	Concreto
	CRISTALIZAÇÃO DE SAIS NOS POROS DO CONCRETO			
	RETRAÇÃO HIDRÁULICA DO CONCRETO FRESCO	ASSENTAMENTO PLÁSTICO	Fissuração do concreto	Concreto
RETRAÇÃO PLÁSTICA				
GRADIENTE TÉRMICO	RETRAÇÃO TÉRMICA	Fissuração do concreto	Concreto	
	DILATAÇÃO TÉRMICA			
AÇÃO DO FOGO (INCÊNDIO)		Fissuração; desidratação da pasta de cimento; expansão dos agregados; e desagregação do concreto; ruptura e colapso da armadura	Peça estrutural (concreto + armadura)	
QUÍMICA	REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO		Expansão e fissuração do concreto	Concreto
	HIDRATAÇÃO DOS ÓXIDOS DO CIMENTO MgO e CaO			
	ATAQUE POR SULFATOS		Decomposição química da pasta; despassivação do aço; expansão, fissuração, desintegração, perda de resistência e de massa do concreto	Concreto
	ATAQUE POR ÁCIDOS		Decomposição química, dissolução e lixiviação; ou decomposição química, expansão, fissuração e desagregação do concreto	Concreto (o HCl, por sua vez, ataca ambos - concreto e aço)
	ÁGUA PURA		Decomposição química, dissolução e lixiviação da pasta de cimento; eflorescência, estalactite e estalagmite	Concreto
	CARBONATAÇÃO		Redução progressiva do pH do concreto e despassivação do aço, abrindo caminho para a corrosão do aço	Inicialmente o concreto; posteriormente o aço
	ATAQUE POR CLORETOS		Despassivação do aço; posteriormente, corrosão das armaduras (processo eletroquímico)	Inicialmente o aço; posteriormente o concreto
ELETROQUÍMICA	CORROSÃO DAS ARMADURAS		Deterioração e perda de seção do aço; perda da aderência aço-concreto; expansão, fissuração e lascamento do concreto	Inicialmente o aço; posteriormente o concreto

Fonte: Santos (2012)

ANEXO B

Figura 9 – Causas, mecanismo e sintomas da deterioração do concreto armado

O processo de execução da técnica de jet grouting envolve as seguintes etapas:

