

Reforço de Fundações de Edifícios

Necessidade e Soluções

A primeira fase de um processo de reforço de fundações deve passar pela análise da possibilidade de não se fazer esse reforço, ou seja, a melhor forma de abordar o problema do reforço é evitar a sua necessidade, assim tal seja possível.

O Moinho de Marés do Montijo e os Teatros S. Luiz e Mário Viegas e o Palácio Pombal são exemplos distintos em análise que retratam as diferentes motivações para a realização de reforço de fundações.

DA NECESSIDADE DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

A necessidade de reforço de fundações coloca-se frequentemente em operações de reabilitação, quer quando se está confrontado com patologias que têm por causa a insuficiência das fundações existentes, quer quando as próprias intervenções implicam alterações das condições de carga nas fundações existentes, para as quais estas não se revelam suficientes.

No primeiro caso, o reforço de fundações coloca-se pela necessidade de impedir a progressão das patologias a estas associáveis, as quais, pela sua gravidade, estão frequentemente na origem de situações extremas de colapso de edifícios antigos, ou mesmo quando este não seja o cenário, o reforço destina-se a evitar que prossiga a degradação das condições de



Moinho de Marés do Montijo. Fase de execução de fundações da fachada principal do moinho, com reconstrução do embasamento de pedra

segurança de toda a estrutura e a perda de funcionalidade global por envelhecimento excessivo de partes importantes do edifício.

No segundo caso, o reforço de fun-

dações pode tornar-se imperativo por se alterarem local ou globalmente as condições e a intensidade das forças transmitidas pela superestrutura ao solo de fundação, em circunstâncias muito



Moinho de Marés do Montijo. Fases de execução de fundações da fachada principal do moinho, com reconstrução do embasamento de pedra

diversas, como seja o aumento do porte dos edifícios existentes, a substituição de pavimentos leves de madeira por pisos pesados de betão, a supressão parcial ou total de paredes e outros ele-

mentos resistentes, a alteração funcional com aumento das sobrecargas nos pavimentos, etc..

Na análise dos problemas que podem conduzir à necessidade de reforço de

fundações deve ter-se em conta, em particular:

- as fundações são, por definição, a base e o primeiro garante da segurança de toda a estrutura;
- as fundações estabelecem o contacto entre a estrutura do edifício e a estrutura geotécnica que é o solo de fundação, sobre o qual existe frequentemente insuficiente conhecimento;
- as operações de reforço de fundações são de execução delicada, comportando riscos específicos durante a sua realização, os quais devem ser cautelosamente equacionados e resolvidos desde a fase de projecto;
- as operações de reforço de fundações são tarefas dispendiosas e, por isso, a sua adopção deve ser precedida de estudos que garantam primeiro a sua imprescindibilidade, depois que as optimizem.

Nestas condições, a primeira questão que tem de colocar-se é a da efectiva necessidade de reforço de fundações, devendo, em cada caso, fazer-se a análise da possibilidade de dispensar este tipo de trabalho, através da adopção de medidas simples e racionais que tal possibilitem.

Um exemplo de tal tipo de pré-análise tem a ver com a verificação da possibilidade de reduzir as cargas aplicadas ou de fazer a sua redistribuição, de modo a "aliviar" as fundações mais solicitadas; outra possibilidade é a de não adoptar soluções à base de pavimentos pesados de betão a substituir pisos de madeira ou mesmo a de suprimir soluções pesadas indevidamente introduzidas, repondo as soluções leves pré-existent; o mesmo se poderá dizer em relação aos tipos de paredes de compartimentação, não estruturais, para as quais se

deve privilegiar o recurso a soluções leves, desde que tal não comprometa funcionalidades e desempenhos considerados indispensáveis.

Quer isto dizer que a primeira fase de um processo de reforço de fundações deve passar pela análise da possibilidade de não se fazer esse reforço, ou seja, a melhor forma de abordar o problema do reforço é evitar a sua necessidade, assim tal seja possível.

SOLUÇÕES CORRENTES DE REFORÇO DE FUNDAÇÕES

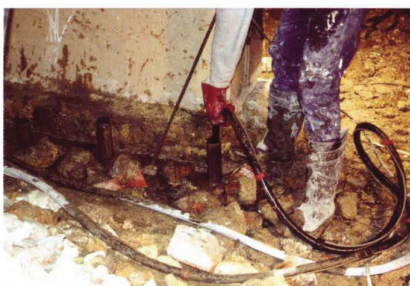
Os engenheiros dispõem hoje de uma vasta gama de tecnologias e de métodos de abordagem do reforço de fundações, desde as que são, de facto, processos de reforço ou de substituição do solo de fundação, até aos processos de reforço de fundações, passivos ou activos; não se pretende aqui fazer uma abordagem sistemática destas questões, cuja vastidão supera o objectivo pretendido, nem mesmo fazer uma descrição e uma análise dos fundamentos teóricos que estão subjacentes a cada uma das possíveis soluções, pretendendo-se somente apresentar algumas das técnicas que mais frequentemente se podem usar para fazer o reforço de fundações, apresentadas e descritas na óptica de um engenheiro de estruturas, utilizador dessas mesmas tecnologias.

Intervenção no solo de fundação

As soluções mais vulgarmente utilizadas são as que correspondem ao reforço das características mecânicas do solo de fundação, como é o caso das injecções consolidantes com caldas e argamassas de base cimentícia ou outra e as soluções de substituição em que os solos de fundação são



Teatros de S. Luiz e Mário Viegas. Recalçamento dos pilares que suportam a teia e a cobertura



Teatros de S. Luiz e Mário Viegas. Fases do recalçamento de paredes com prévia execução de cortinas de microestacas

removidos e substituídos por materiais mais resistentes, como é o caso de betões pobres; ainda neste grupo se podem considerar incluídas as

soluções à base de execução de drenagens do solo de fundação, por exemplo à custa de estacas de brita, deste modo se garantindo a melhoria

do seu desempenho mecânico. As soluções de compactação directa do solo de fundação são na prática inviáveis ou muito difíceis no caso de fundações de edifícios existentes; a consolidação indirecta do solo, através da execução de microestacas injectadas ou de colunas de *jet-grouting*, representa uma interessante possibilidade que, entretanto, pode ser abordada no grupo das técnicas de reforço de fundações.

Reforço de fundações

As soluções mais comuns de reforço de fundações directas consistem em fazer o seu alargamento e/ou o seu recalçamento, podendo qualquer destas tipologias corresponder a soluções passivas ou activas, sendo que no primeiro caso o reforço de fundações só é mobilizado para novas solicitações a que a estrutura seja submetida, enquanto os reforços activos podem ser mobilizados, através da adopção de medidas específicas, para a totalidade das cargas em presença. O alargamento de fundações é uma solução interessante quando se esteja perante um terreno de fundação adequado e caso se pretenda fazer face a novos aumentos de cargas verticais (provenientes de substituição de pavimentos por outros mais pesados, aumento do número de pisos do edifício, aumento de sobrecargas nos pisos, etc.) ou melhorar o desempenho das fundações para a acção sísmica. Em qualquer caso, o alargamento, sem recalçamento, pressupõe, para que seja eficiente, que seja garantida a correcta e eficaz ligação mecânica entre a fundação existente, frequentemente de alvenaria ordinária de pedra, e o elemento que forma a sobre-largura da fundação, geralmente de

betão simples ou armado; a forma mais simples de alcançar este resultado consiste em executar ligações mecânicas entre o elemento novo e o velho através de conectores geralmente constituídos por chumbadouros compostos por varões de aço fixados ao elemento proginal e “mergulhados” no elemento de reforço.

Deste modo, as novas cargas que sejam transmitidas às fundações, após o seu alargamento, mobilizarão todo o conjunto da fundação, incluindo os reforços; a análise do comportamento da fundação e do solo de fundação deverá fazer-se através da avaliação da sobreposição de estados de tensão, a partir da consideração das cargas actuantes antes e após o reforço, na sua ligação com as características da fundação, também antes e após o reforço.

O recalçamento de fundações é uma solução lógica quando se constata a inadequação da camada superficial do solo de fundação, não estando em causa o aumento de cargas nas mesmas, o que permitirá que o recalçamento corresponda praticamente a uma substituição do solo fraco por betão, simples ou armado, até uma cota tal que se encontre o solo com aptidão suficiente; é portanto uma solução característica de casos de reabilitação estrutural associada à eliminação de anomalias devidas a assentamentos de fundações e os casos mais típicos em que tem sido aplicada correspondem a situações em que os estratos de fundação sofreram alterações geológicas e mecânicas relevantes ao longo do tempo, frequentemente com base em problemas associáveis à circulação de água subterrânea, originando meteorização de solos (em calcários e granitos, por exemplo), ou arrastamento de

finos (em solos de matrizes areno-argilosas).

O recalçamento é geralmente assumido como uma solução passiva, isto é, o elemento que faz o recalçamento não é inicialmente activado, ou seja, não suportará cargas, sendo mobilizado após execução à medida que vai ocorrendo a aplicação de novas cargas e/ou de novas deformações da estrutura ou do solo. A activação do recalçamento pode ser feita de modo simples, total ou parcialmente, através da aplicação de escoramentos para os quais, transitivamente, se faça a transferência das cargas aplicadas ao elemento estrutural cuja fundação esteja a ser recalçada.

Naturalmente, haverá situações em que se combinará o recalçamento com o alargamento das fundações, o que sucederá quando se constate a inadequação das camadas superficiais do solo de fundação associada ao aumento de esforços nas fundações. Tal como se referiu a propósito do recalçamento simples, também neste caso é possível optar por soluções passivas ou activas; vale a pena chamar a atenção para os riscos associados à mobilização dos reforços de fundações através da aplicação de escoramentos que podem pôr em causa a estabilidade e a segurança dos elementos estruturais envolvidos, geralmente colunas ou paredes de alvenaria, integradas em estruturas de definição e análise complexas.

Alteração do tipo de fundações

Este tipo de intervenção ocorrerá quando o recalçamento ou o alargamento das fundações, soluções tecnicamente simples embora muito delicadas e exigentes em termos executivos, se revelam de difícil concretização, face

aos problemas colocados pelas características do solo, em particular quando o solo com aptidão se encontra a 3 ou mais metros de profundidade, aconselhando o recurso a alterações do tipo de fundação, passando das fundações directas para fundações indirectas ou semi-directas.

A escolha das fundações semi-directas, por poços ou pegões, é interessante quando as camadas de solo com aptidão para fundações se situam entre cerca de 3m a 6m de profundidade; as sapatas contínuas, características das fundações de alvenaria, são então substituídas por um sistema descontínuo com poços afastados geralmente de cerca de 4m ligados entre si através de vigas ou arcos de betão simples ou armado.

Este tipo de solução não difere muito do recalçamento antes referido, embora as tecnologias usadas sejam muito diferentes, atendendo ao facto de a execução de poços implicar o recurso a técnicas específicas de escavação entivada, cuja razão de ser se explica pelos riscos associados a escavações importantes sob estruturas muito pesadas; a activação destes reforços apresenta os problemas já antes mencionados mas, ao contrário do que sucede com os recalçamentos simples, a própria natureza dos solos superficiais de má qualidade em profundidade significativa recomenda que se procure a imediata mobilização da solução de reforço.

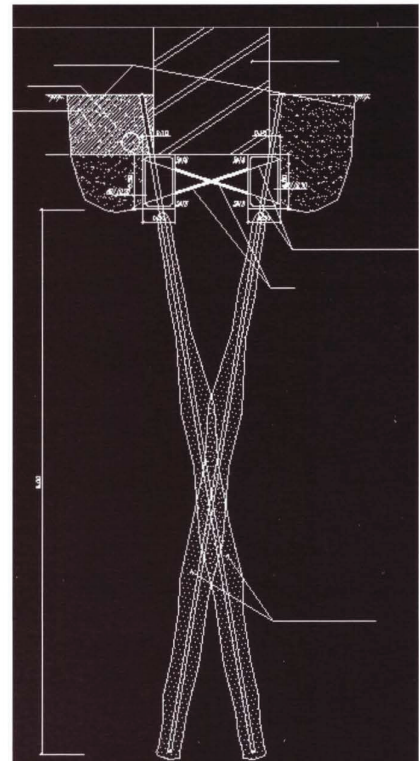
Além do prévio escoramento das estruturas a recalçar por este processo, é possível admitir a integração de sistemas de macacos hidráulicos entre a base das fundações a recalçar e os poços de reforço, de modo a garantir que as cargas provenientes das paredes sejam imediatamente transmitidas aos poços de fundação,

logo que sejam desactivados os escoramentos estruturais.

Outra solução correspondente a uma alteração do tipo de fundação tem por base o recurso à execução de microestacas, em grupos ou em cortinas, realizadas de modo a que as cargas nas fundações existentes possam transmitir-se a camadas profundas do solo; no caso das cortinas de microestacas, a distância entre estes elementos é geralmente inferior a 0,5m o que permite fazer o seu simples encabeçamento através de maciços de betão armado que geralmente assumem a forma de uma viga contínua de encabeçamento, cuja única função é ser elemento de ligação entre as microestacas e os elementos de alvenaria.

No caso de grupos de microestacas, a solução é semelhante à que foi descrita para os poços de fundação, em que os grupos de estacas, devidamente encabeçados, distanciados de cerca de 4m entre si, são interligados por vigas de fundação de betão armado que deverão receber e transmitir às estacas as forças provenientes da superestrutura.

Consoantes as condições geométricas e arquitectónicas que só poderão ser conhecidas obra a obra, as microestacas serão executadas na vertical ou com inclinação (geralmente variável entre 5 e 15 graus); o recurso a estacas inclinadas deve-se à impossibilidade de ocupar espaços exteriores às paredes e, caso se adopte tal solução, deve ter-se em conta a necessidade de equilibrar os impulsos horizontais que se irão gerar. Anote-se que o recurso a este tipo de solução permite, de facto, beneficiar dos efeitos combinados que resultam, por um lado, da compactação do solo sob as fundações existentes por efeito da injeção das microestacas e da sua



Palácio Pombal. Esquema da solução de reforço das fundações com microestacas inclinadas e encabeçadas por vigas de betão



Palácio Pombal. Fase de execução do reforço de fundações da parede da fachada posterior do Palácio com microestacas



Palácio Pombal. Fases de execução do reforço de fundações da parede da fachada posterior do Palácio com microestacas

parcial substituição por elementos de maior resistência mecânica. Tal faz com que este tipo de solução seja também muito interessante como uma técnica de pré-consolidação de fundações, a adotar em casos de realização de escavações na imediação das fundações a reforçar.

CASOS

Os casos que se ilustram ao longo deste texto correspondem a situações distintas e a diferentes motivações para a realização de reforço de fundações.

No caso do Moinho de Marés do Montijo, tratava-se de uma edificação cuja longa história é marcada pelos sucessivos problemas com o comportamento das fundações das paredes do Moinho, constituídas por sapatas contínuas de alvenaria hidráulica com blocos de pedra de grande dimensão, as quais sofriam continuamente com o arrastamento de areias que eram o estrato de fundação, levando ao descalçamento das fundações das paredes, à fractura destas e ao colapso de partes do edifício.

A opção por criar, na fachada principal do Moinho, aquela que mais solicitada é pelo efeito das marés e das correntes associadas, uma cortina de microestacas, baseou-se na intenção de colocar essa parede e as suas fundações ao abrigo das alterações que o solo superficial possa sofrer, mobilizando estratos mais profundos, mais resistentes e não sensíveis às alterações que os solos superficiais possam sofrer.

Esta decisão justificava-se ainda mais pelo facto de a intervenção no Moinho ser, em boa medida, um trabalho de reconstrução, pelo que, sendo a execução das microestacas a primeira tarefa dessa reconstrução, as mesmas foram mobilizadas à medida

que a reconstrução das paredes, dos canais e dos pavimentos ia prosseguindo, garantindo-se desde o início a transferência de cargas da estrutura para estratos profundos.

Este trabalho teve duas particularidades que se entende interessante salientar: a execução de uma obra no rio implicou a necessidade de executar uma ensecadeira que permitisse trabalhar a seco; as microestacas foram executadas de modo a “trespassarem” os blocos de pedra constituintes da parede e da sua fundação cujo desmonte não foi considerado necessário e, deste modo, as microestacas acabam por constituir elementos de pregagem vertical entre blocos de pedra.

O segundo caso que interessa apresentar diz respeito à obra dos Teatros S. Luiz e Mário Viegas, em que se procedeu ao recalçamento de fundações, com e sem prévia execução de microestacas. Foram duas as razões que conduziram à necessidade de se fazer o reforço de fundações por recalçamento: no caso do bloco dos camarins, o recalçamento das fundações dos pilares existentes impunha-se porque as cargas totais transmitidas às fundações aumentavam de forma significativa, em função do aumento do porte do referido corpo e da construção de lajes mais pesadas do que as originais (embora estas fossem já de betão armado); no caso do bloco de instalações sanitárias sob o átrio de entrada do S. Luiz, do sub-sub-palco e da sub-plateia do mesmo teatro e de toda a envolvente do Mário Viegas, o recalçamento impunha-se pela necessidade de se fazerem escavações abaixo da cota da fundação das paredes interessadas.

No primeiro caso, assinala-se a forma faseada como se processou o trabalho


de recalçamento, de modo a garantir-se sempre as adequadas condições de fundação da estrutura existente; no segundo caso distinguem-se situações em que se procedeu a um recalçamento simples, executado por fases, como sucedeu com as paredes perimetrais da sub-plateia e do sub-sub-palco, sem alargamento da fundação existente, já que não estava em causa o aumento de cargas nas fundações existentes, e outras, como sucedeu nas escavações sob o átrio de entrada do S. Luiz e sob as paredes do Mário Viegas, em que a altura de recalçamento aconselhou, por considerações de segurança em fase de construção, a prévia execução de microestacas como medida cautelar de pré-consolidação das fundações existentes.

Uma terceira situação que se entendeu destacar diz respeito à intervenção de consolidação das fundações da parede da fachada posterior do Palácio Pombal, em Lisboa; neste caso, tratava-se de um edifício cujas fundações, a tardoz, apresentavam problemas de comportamento que se tinham traduzido, ao longo do tempo, em assentamentos verticais e rotações da parede de tardoz do Palácio, com fracturas muito acentuadas nessas paredes, nas paredes mestras interiores e nas abóbadas do piso térreo, com intensidade tal que se colocava um cenário de possível colapso parcial do edifício.

A intenção da operação de reforço de fundações era aqui a de travar o processo patológico de degradação da estrutura do edifício, que ocorria por disfuncionamento de fundações; dado que tal disfuncionamento era relacionável com as deficientes características das camadas superficiais do

solo de fundação (presumivelmente devidas ao efeito da percolação de águas subterrâneas), entendeu-se como adequada uma solução à base de microestacas, ligeiramente inclinadas, executadas de ambos os lados da parede de tardoz do Palácio.

As microestacas foram localizadas, em grupos de três ou mais, em correspondência com as pilastras dessa parede, ou seja, sob as zonas mais carregadas desta, e foram encabeçadas por vigas de betão armado que recalçavam as fundações existentes, construídas interior e exteriormente à parede e ao longo de todo o seu comprimento; dado que a inclinação das microestacas dá origem a forças horizontais, garantiu-se o equilíbrio destas através da interligação entre as vigas de encabeçamento, à custa de varões de aço inoxidável ancorados em ambas as vigas de encabeçamento.

Tratou-se de uma operação de reforço passivo de fundações, já que nada se fez para alterar a distribuição de esforços na estrutura à data da realização do trabalho; no entanto, garantiu-se a mobilização efectiva do reforço através da execução de pregagens entre as paredes de tardoz e as que lhe são ortogonais, e fazendo a injeção de todas as fendas e fracturas existentes nas paredes e nas abóbadas, o que permite assegurar a activação das fundações reforçadas para quaisquer novos esforços na parede de tardoz e para os efeitos de movimentos de deformação do solo de fundação. 

JOÃO APPLETON,
Engenheiro Civil, A2P, Ld.^a