

RISCO DE FUNDAÇÕES

O MERCADO QUANTIFICA O RISCO ADEQUADAMENTE?



Foto de ThamKC na Envato Elements

Em 2013, quando a norma de desempenho de edifícios foi publicada, as fundações assumiram oficialmente o protagonismo em perícias (ABNT, 2013), uma vez que ela cita textualmente que o bom desempenho de uma edificação está intimamente relacionado ao bom desempenho de suas fundações. A reflexão importante é: o mercado vê de forma adequada este bom desempenho? Em outras palavras, os engenheiros responsáveis pelo projeto, pela execução e pela compra de um serviço de fundações sabem quantificar adequadamente o risco de uma fundação que não apresenta bom comportamento?

É possível definir o risco como sendo a probabilidade de falha multiplicada pelo custo da consequência multiplicada pela vulnerabilidade. Destacam-se na afirmação três fatores, o primeiro é que risco é uma grandeza probabilística; o segundo é que o risco é um custo direto de uma obra; e, o terceiro: risco envolve mais que a obra em si, mas também o entorno (Aoki, 2014, Silva, 2003).

Em fundações, é raro que uma falha cause a ruptura da edificação. Talvez um dos melhores exemplos de problemas de fundação seja a famosa torre de Pisa, a qual apresenta problemas desde a sua construção e nunca chegou à ruptura. Porém, a mesma torre é, também, um exemplo do custo associado ao reparo do problema. Além disso, toda edificação tem, no seu modelo estrutural inicial, a consideração de apoios indeslocáveis.

Recalques elevados, os quais podem ocorrer também, mas não somente, quando um elemento de fundação está próximo à ruptura e, principalmente, recalques diferenciais elevados causam uma redistribuição nos esforços dentro da estrutura, fazendo com que ela se comporte de maneira diferente do previsto. Este fenômeno, frequentemente, ocasiona em fissuras, responsáveis pela criação de zonas críticas suscetíveis à proliferação de fungos devido a umidade do exterior, reduzindo as condições de desempenho e salubridade da edificação, dando razão ao texto da norma (ABNT, 2013).

A probabilidade de falha, por sua vez pode ser obtida de maneira simples através do índice de confiabilidade β , calculado através do inverso do coeficiente de variação da margem de segurança, expresso na equação 1, onde μ_R e μ_S são, respectivamente, a média da resistência e da solicitação e σ_R e σ_S são, respectivamente, os desvios padrão da resistência e da solicitação.

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1)$$

A probabilidade de falha é, então, obtida a partir de β utilizando-se uma distribuição normal padronizada, com média 0 e desvio padrão 1, sendo a probabilidade de falha, a probabilidade de ocorrência de um valor igual a $-\beta$.

Os valores relativos à solicitação podem ser obtidos da literatura, por exemplo, do trabalho de Ang e Tang (1984), a partir do conhecimento ou da estimativa de quanto da solicitação é carga permanente e quanto é acidental.

Os valores relativos à resistência podem ser conhecidos na etapa de projeto a partir das sondagens, que fornecem a variabilidade espacial do solo, e da calibração do método de cálculo utilizado, que fornece a incerteza de modelo. Durante e após a execução das fundações, tais valores são obtidos de ensaios de carregamento dinâmico e provas de carga estática.

As informações da resistência, que fique claro, são dos elementos de fundação e não apenas do solo. Cada solução de fundação traz consigo um nível de controle associado que pode reduzir a incerteza, acompanhar a variabilidade espacial do solo ou aumentar a incerteza.

Estacas escavadas a céu aberto, por exemplo, acompanham a variabilidade do solo. Estacas cravadas com controle de nega reduzem a variabilidade e estacas hélice contínua, caso não tenham a velocidade de inserção do trado controlada, a aumentam.

Por exemplo, na região de Curitiba, há regiões onde ocorre solo residual de migmatito. O migmatito é uma rocha metamórfica onde parte do material de composição sofreu nova fusão, ganhando resistência de rocha vulcânica. Por outro lado, a parte que não sofreu esta fusão, possui xistosidade e alinhamento de grãos, sendo pouco resistente. O solo residual, além desta variabilidade, também depende dos fatores que decompõem a rocha.

Estes fatores fazem a resistência do solo residual de migmatito variar de maneira aleatória. Por ser aleatória, não é válido interpolar furos de sondagem ou projetar fundações por área de influência, devendo, ou ser definido um comprimento de projeto válido para a obra toda, ou adotado um critério de parada.

Três casos de obra neste tipo de solo podem ser citadas. O primeiro caso de obra com estacas metálicas com critério de nega, onde os testes de carga indicaram uma probabilidade de falha de 1/950. O segundo com estacas pré-moldadas, também com critério de nega, onde os testes de carga indicaram probabilidade de falha de 1/12.812. O terceiro com estacas hélice contínua controladas pelo torque do equipamento, onde os testes de carga indicaram uma probabilidade de falha de 1/62. Em nenhum dos casos, os testes de carga conduzidos resultaram em fator de segurança por estaca inferior ao mínimo da norma, de 1,6. Por que então a estaca hélice contínua obteve um resultado tão baixo? A resposta diz respeito à execução: houve negligência dos executores quanto aos critérios, cuidados e risco da obra, resultando em um resultado ruim.

Mesmo que apresente problemas frequentes, porém, a estaca hélice contínua tem sido a solução preferida pelos compradores nesta unidade geotécnica. A razão disso é que quem compra um serviço de fundação, assim como projetistas e executores, não possui o conhecimento adequado para avaliar o risco associado a cada solução, sendo influenciado por questões de *marketing* ou equívocos técnicos, tal como a afirmação de que a estaca hélice não causa vibrações em edificações vizinhas.

CONVITE À REFLEXÃO

A abordagem probabilística do risco em obras de engenharia deve ser incluída na formação dos engenheiros, sendo a quantificação do risco um fator imprescindível de análise para projetistas, executores e compradores de serviços de fundações no Brasil.

Em nível de comparação, o Eurocode 0 (CEN, 2002), que trata de segurança de estruturas, exige um β mínimo em função das consequências da ruptura, tornando corriqueiras as análises estatísticas naquele continente.

Como citado por Aoki (2008), o fator de segurança é um valor médio que não afasta o risco das obras de fundação, o que pode ser visto nos casos de obra apresentados. Este risco, assim sendo, não é exclusividade das fundações, sendo preciso repensar os currículos dos cursos de engenharia, de modo a priorizar a inclusão da abordagem probabilística e da análise de risco adicionalmente aos cálculos de fator de segurança, uma vez que os próprios fatores de segurança das normas possuem uma origem probabilística e visam garantir risco baixo.

Respondendo à pergunta do título, portanto, pode-se afirmar que, atualmente, o mercado não quantifica de maneira adequada o risco das fundações, visto que esta temática necessita, primeiramente, de inclusão nos conteúdos acadêmicos, visando a formação de profissionais qualificados para a construção de edificações mais seguras.

REFERÊNCIAS


- Ang, A.H-S; Tang, W.H. (1984). Probability Concepts in Engineering Planning and Design: Decision, Risk and Reliability. New York. John Wiley & Sons. Vol. 2.
- Aoki, N. (2008). O dogma do fator de segurança. Palestra apresentada no SEFE VI, Sexto Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, São Paulo.
- Aoki, N. (2014). Praticando a análise de risco em obras de fundações. Minicurso de Fundações. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Goiânia.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013) NBR 15.575 Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os Sistemas Estruturais. Rio de Janeiro, 31pp. ISBN 978-85-07-04045-3
- Comité Europeu de Normalização (2002). EN 1990. Eurocode 0 – Basis of Structural Design.
- Silva, F. (2003). Análise de Segurança e Confiabilidade de Fundações Profundas em Estacas. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

SOBRE O AUTOR

Luiz Henrique Felipe Olavo

Engenheiro Civil pela UFPR, Mestre em engenharia de Construção Civil pela UFPR, ex presidente do núcleo regional PR e SC da ABMS, responsável técnico pela ENSOLO Engenharia de Solos e Fundações Ltda, professor do curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios e professor e coordenador do curso de Pós-Graduação em Fundações e Contencções pela Faculdade IDD.



 luiz@ensolo.com.br ou olavo.doc@idd.edu.br

 <https://br.linkedin.com/in/luizhenriqueolavo>

 <https://lattes.cnpq.br/5273884751852816>