

Importância de ensaios geotécnicos em obras de pequeno porte: uma abordagem estatística multivariada

Importance of geotechnical investigation in small civil works: a multivariate statistical approach

Johny Lima Magalhães¹
Thiago Stefano Passos Segre¹
Rodrigo Custódio Urban²

Resumo: A inexistência ou ineficiência de estudos dos solos são as principais causas de patologias em obras de fundações. Este trabalho visa avaliar o emprego da investigação geotécnica em obras de pequeno porte, analisando a viabilidade econômica de sua execução e as circunstâncias que motivam a sua não realização. Os dados foram coletados de 17 obras na região metropolitana de Campinas/SP, e analisados por técnicas de estatística multivariada. Para avaliação dos dados quantitativos foi utilizada a análise de componentes principais e para os dados qualitativos foi utilizada a análise de correspondência múltipla. Os resultados permitiram identificar características das fundações determinadas pela presença ou ausência do estudo preliminar do solo. Além disso, foi constatada uma estreita relação entre a realização de ensaios geotécnicos e a presença de um responsável técnico pela obra, reforçando a importância de um profissional capacitado e com conhecimento técnico para orientar e exigir a realização de ensaios geotécnicos. Os resultados reforçam a importância do conhecimento do solo para uma construção, independentemente de seu porte, evitando transtornos posteriores e gastos suplementares com tratamentos de patologias.

Palavras-chave: Análise estatística multivariada, ACP, ACM, SPT, Fundações, patologias em construção civil, sondagem

Abstract: The inexistent or inefficient soil investigation is the main cause of pathologies in foundation. This paper aims to evaluate the use of geotechnical investigation on small constructions in the Campinas/SP metropolitan area, analysing your economical viability and the reasons not to do them. Data were collected from 17 civil works in the study area, and analyzed by multivariate statistical techniques. The quantitative data were evaluated by principal component analysis and the qualitative data by multiple correspondence analysis. Characteristics of the foundations determined by the presence or absence of the preliminary soil study were identified. We have verified a close relationship between the execution of geotechnical investigation and the presence of a construction technical manager, reinforcing the importance of a qualified professional with technical knowledge to guide and require the soil investigation. The results reinforce the importance of soil knowledge for foundation engineering regardless of the construction size. Soil investigation prevents additional costs with treatment of civil works pathologies and other technical problems.

Keywords: multivariate statistical analysis, PCA, MCA, SPT, foundation, civil works pathologies

1: Mestre, Departamento de Engenharia de Produção

¹Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas)

²Docente orientador de TCC da PUC-Campinas. e-mail: rodrigo.urban@puc-campinas.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Fundações são elementos estruturais responsáveis por transferir carregamentos de uma superestrutura aos solos. Para que sua capacidade funcional não seja comprometida, gerando patologias na construção, ou mesmo, ocasionar a ruína da estrutura, são necessárias algumas prevenções na concepção dos projetos de fundações, na execução e em sua utilização.

Para a realização de um projeto de fundação, o solo é o principal fator a ser considerado e, inevitavelmente, seu comportamento deve ser devidamente analisado. Dessa forma, faz-se necessário a realização de estudos geotécnicos que permitam explorar e detalhar o perfil do solo analisado, possibilitando assim, determinar seu comportamento e características.

Segundo Milititsky *et al.* (2015) o custo das fundações varia entre 3% a 6% do preço da construção, no entanto, em casos especiais, dependendo do tipo de estrutura a ser suportada, das solicitações correspondentes e condições adversas de subsolo, pode-se chegar a porcentagens entre 10% e 15% do custo global. Esses valores financeiros são considerados por proprietários de obras e, muitas vezes questionados, pois são elementos que ficam enterrados e que não valorizam o preço do imóvel. O mesmo acontece com os ensaios geotécnicos que, pela falta de conhecimento técnico, tem sua utilidade desprezada pelos investidores, no entanto, são essenciais para a concepção da infraestrutura de um edifício.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos gastos com ensaios geotécnicos no orçamento total das construções, analisando a viabilidade

econômica de execução de estudos geotécnicos preliminares e complementares em obras de pequeno porte.

1.1 Patologia das Fundações

A investigação do subsolo é a causa mais frequente de problemas de fundações. Segundo Milititsky *et al.* (2015) os principais motivos de patologias decorrentes de incertezas quanto às condições do subsolo são a ausência de investigação, uma investigação ineficiente ou com falhas, ou ainda, a má interpretação dos resultados.

A ausência de investigação do subsolo ocorre comumente em obras de pequeno e até médio porte, motivado, em geral, por questões econômicas. Um antigo estudo estatístico francês constatou que, em 2 mil casos estudados no país, cerca de 80% dos problemas foram decorrentes do desconhecimento das características do solo (LOGEAIS, 1982).

Silva (1993) analisou estatisticamente 318 eventos no Rio Grande do Sul a fim de explicar a abrangência dos casos patológicos correntes em obras de pequeno porte. O autor verificou que a investigação, falha ou inexistente, do subsolo foi origem de cerca de 35% dos casos patológicos estudados.

Durante o processo de investigação do subsolo podem ocorrer problemas que comprometem os resultados obtidos, gerando uma investigação ineficiente. As falhas que são relativamente comuns de se ocorrer são: adoção de procedimentos indevidos ou ensaio não padronizado, uso de equipamento com defeito ou fora de

especificação, má descrição do tipo de solo, entre outros (MILITITSKY *et al.* 2015).

Ainda segundo Milititsky *et al.* (2015), para uma melhoria da investigação do subsolo nas obras, os principais fatores que devem ser implementados ou aperfeiçoados em obra de pequeno porte são:

- Criação de uma cultura de investigação do subsolo, apresentando a importância de sua realização e seu custo benefício;
- Realização de um planejamento de programa de investigação por um engenheiro/profissional geotécnico experiente;
- Os ensaios de percussão (SPT) devem ser realizados por empresas e profissionais certificados e idôneos, utilizando equipamentos calibrados e seguindo procedimentos normalizados.

2 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi efetuado em duas etapas. Na primeira realizou-se a coleta e organização dos dados e, na segunda a análise estatística multivariada dos dados levantados.

2.1 Coleta de dados

Para a análise dos custos da execução de ensaios geotécnicos foram utilizados, como objeto de estudo, 17 obras de pequeno porte da região metropolitana de campinas.

O estudo baseou-se em levantamento de dados *in loco*, por meio de informações repassadas pelos responsáveis pelas obras visitadas, de forma a obter informações necessárias para efetuar a classificação das obras, como: área construída, quantidade de dormitórios, custo de ensaios

geotécnicos, fundação e custo total da obra.

A partir da obtenção dos dados, com o intuito de melhorar a análise, foi feita a classificação das construções enquadrando-as em baixo, normal e alto padrão. Para tanto, foram avaliadas suas características como: custo unitário básico por metro quadrado, padrão dos acabamentos, área construída, quantidade de dormitórios, quantidade de pavimentos, etc., possibilitando catalogar a construção conforme os projetos-padrão constantes na NBR 12721 (ABNT, 2006).

Foi adotado como condição principal de classificação a paridade da edificação com os projetos-padrão e, secundariamente, a relação entre o custo unitário da construção e o custo unitário básico (CUB) disposto pelo Sindicato da Construção de São Paulo (Sinduscon-SP), O CUB foi utilizado apenas como forma de certificar a condição principal.

2.2 Análise dos dados

Considerando a variabilidade dos dados obtidos optou-se pela sua análise por meio de uma abordagem estatística multivariada, pois possibilita a investigação das inter-relações entre as variáveis consideradas. Diante das condições quantitativa de alguns dados e qualitativa de outros foram selecionados como métodos adequados (LANDIM, 2011): a análise de componentes principais (PCA) e a análise de correspondência múltipla (MCA).

A análise de dados foi realizada com auxílio dos softwares MS-Excel© e XLStat©.

3 RESULTADOS

A técnica da PCA permitiu uma análise dos dados quantitativos com ênfase nas variáveis principais e de maior variância, possibilitando estudar a inter-relação entre as variáveis e as obras pesquisadas, representadas na Figura 1, por pontos vermelhos e azuis, respectivamente.

Na análise foi possível verificar que a relação Custo fundação x Custo total é inversamente proporcional ao custo total da obra, ou seja, apesar dos custos de fundação aumentarem conforme o custo da obra, a taxa de crescimento do custo da fundação não é proporcional à taxa de crescimento do

custo da obra. Dessa forma, a relação Custo fundação x Custo total reduz com o crescimento do custo total da obra, o que pode ser notado na Figura 1, onde essas duas variáveis localizam-se em quadrantes opostos, demonstrando um desempenho distinto entre elas. Comportamento semelhante pode ser notado com relação à variável Custo ensaio x Custo total, no entanto, essa relação tem pouca variação, uma vez que os gastos com ensaios geotécnicos são bem menores que os gastos com a fundação, tendo menor representatividade no custo total da obra.

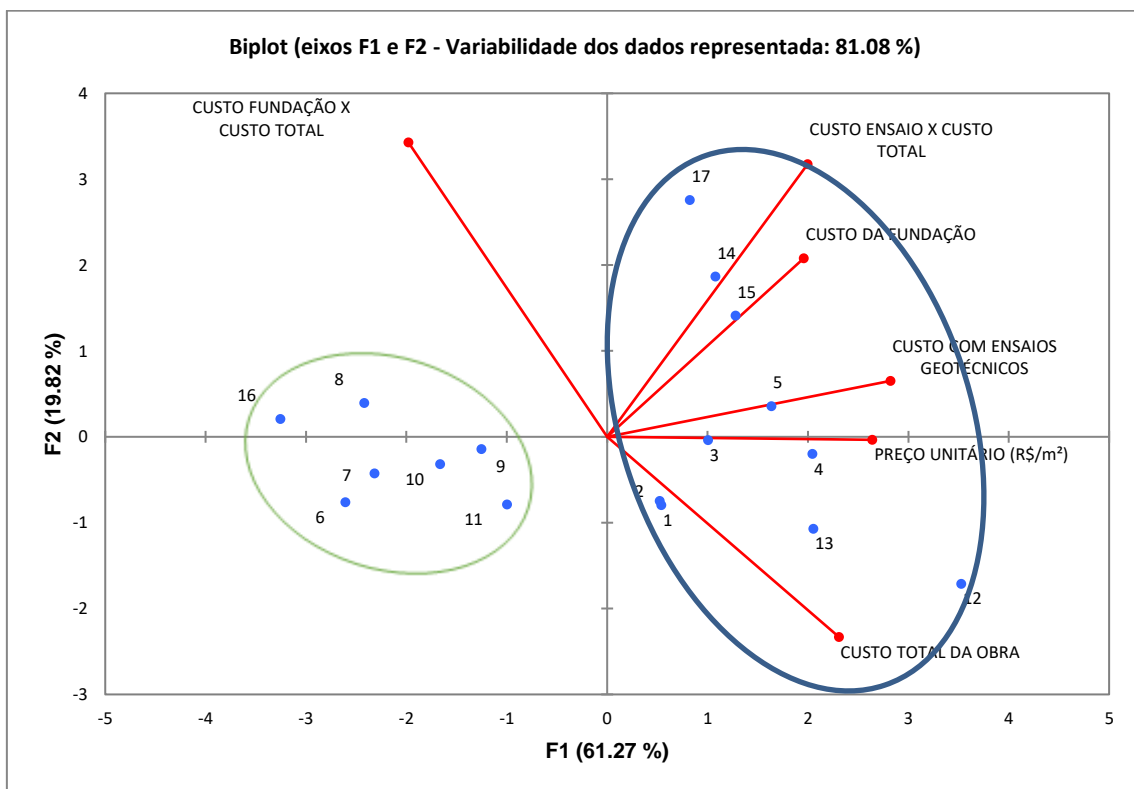


Figura 1. Gráfico das duas principais componentes (F1x F2) da análise quantitativa dos dados obtidos nas obras da região de Campinas.

Outra avaliação que pode ser realizada é em relação às obras em que houve a realização de sondagem (circuladas à esquerda do gráfico da Figura 1) e as que não realizaram (circuladas à direita do gráfico da Figura

1). No primeiro caso foi possível se verificar uma dispersão de resultados das obras, indicando uma variação de tipos de fundação utilizada, profundidade da fundação, gastos com fundação e relação de Custo fundação x Custo total,

condição esta, que pode ser justificada pela adequação do tipo de fundação para a necessidade de cada obra. Nas construções em que não foi realizada a sondagem, notou-se uma convergência dessas características, possivelmente por falta de estudo do solo, adotando-se soluções habituais (modelos de fundações e profundidades semelhantes), sem considerar as particularidades de cada obra e de cada solo de fundação.

Os resultados da análise de correspondência múltipla, apresentados

na Figura 2, foram baseados em três variáveis qualitativas: a obra possuir ou não um responsável técnico; a realização ou não de ensaios geotécnicos e; a relação entre o Custo de fundação x Custo total da obra, que foi classificado da seguinte maneira:

- Classificação A: valores menores que 3%;
- Classificação B: valores iguais ou superiores à 3% e inferiores à 6%;
- Classificação C: valores iguais ou superiores à 6%.

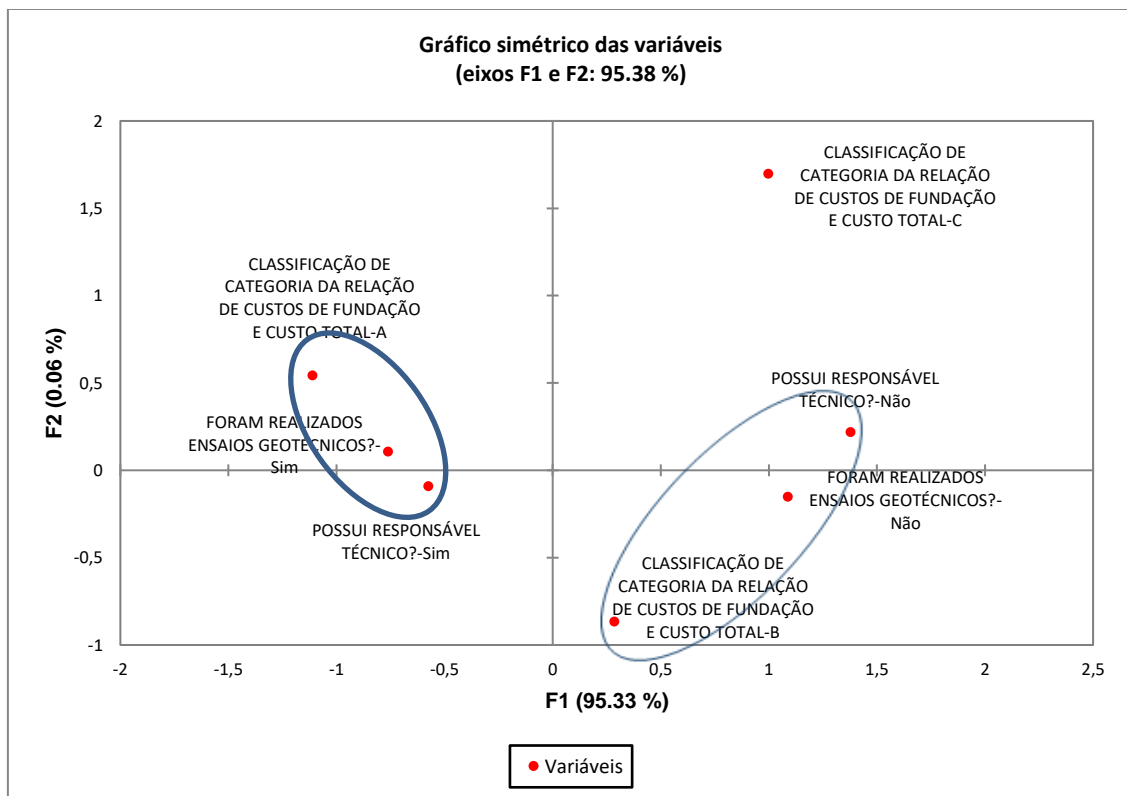


Figura 2. Gráfico dos dois primeiros fatores (F1x F2) da análise de correspondência múltipla dos dados obtidos nas obras da região de Campinas.

A partir da análise, constatou-se uma inter-relação entre essas variáveis, de modo que nas obras que possuem responsáveis técnicos, normalmente, são realizados ensaios geotécnicos, proporcionando uma redução na relação Custo da fundação x Custo total (classificação A) da obra gerada pela

correta adequação do tipo de fundação para cada obra, evitando custos desnecessários. Essa avaliação pode ser realizada pela observação da proximidade dessas variáveis no gráfico da Figura 2, que estão circulas a esquerda.

Uma lógica análoga ocorre com as variáveis opostas, circuladas à direita no gráfico da Figura 2, ou seja, em obras que não possuem responsáveis técnicos, normalmente, não são executadas as investigações do subsolo ocasionando um aumento na relação Custo da fundação x Custo total (classificação B). Por fim, a classificação C da relação de Custos de fundação x Custo total não possui relação direta com as demais variáveis, o que sugere que são casos específicos onde foram necessárias soluções técnicas mais onerosas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada reforça a importância dos estudos preliminares dos solos em obras que, com baixo investimento, concebem benefícios técnicos importantes para a determinação do melhor método teórico e executivo da fundação, e econômicos, tanto na definição do tipo de fundação mais barato, que atenda às necessidades técnicas, quanto na prevenção de patologias posteriores na edificação relacionadas à fundação, uma vez que tem como principal causa a falta ou ineficiência da investigação do solo.

Outro fator relevante que foi observado no estudo é que o principal motivo para não realizar os ensaios geotécnicos é a falta de conhecimento técnico do proprietário da obra e não, necessariamente, o custo desses ensaios, que possuem valores inferiores a 0,3% do custo total da obra, nos casos observados pela pesquisa, sendo economicamente viáveis. Por essa razão é indispensável a presença de um engenheiro ou responsável técnico nas obras, independente do tamanho da construção, para poder orientar e exigir

de seus contratantes que sejam tomadas as medidas técnicas necessárias para a produção normal de uma edificação.

Uma das formas de se demonstrar a importância dos serviços de um engenheiro civil é através da divulgação desse conceito e das consequências que a falta de um profissional habilitado pode gerar, uma vez que poucas ocorrências de falhas em grandes construções são divulgadas, enquanto existem diversos relatos de problemas em obras pequenas.

5 REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) **NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento.** ABNT, 2006
- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos multivariados.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LOGEAIS, L. **La Pathologie des Foundations.** Paris: Edition du Moniteur, 1982.
- MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- SILVA, D. A. **Levantamento de problemas em fundações correntes no estado do Rio Grande do Sul.** 1993. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.