

# CONSTRUÇÃO DE UMA FERRAMENTA NUMÉRICA PARA ANÁLISE DE RADIERS ESTAQUEADOS

Douglas Magalhães Albuquerque BITTENCOURT, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal Goiás, engenheirobittencourt@gmail.com

Maurício Martines SALES, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal Goiás, sales.mauricio@gmail.com

Sylvia Regina Mesquita de ALMEIDA, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal Goiás, sylviaalm@gmail.com

Palavras-chave: Radier estaqueado. Análise numérica. Método dos Elementos Finitos. Otimização de fundações.

## 1 INTRODUÇÃO

Uma obra de Engenharia Civil normalmente requer estudos e análises que propiciem soluções adequadas e econômicas. Algumas áreas fazem uso de formulações teóricas complexas e de ferramentas computacionais elaboradas. Entretanto, a maioria dos projetos de Fundações ainda se caracteriza pelo uso predominante de métodos empíricos de análise e a sua concepção e o dimensionamento dos elementos estruturais ainda se baseiam em propostas provenientes de outras áreas, como a de Estruturas, as quais nem sempre consideram a influência da presença do material geotécnico envolvido no desempenho do sistema de fundação.

Quando os métodos tradicionais e simplificados deixam de ser aceitáveis, o uso de métodos detalhados que representem mais acuradamente o comportamento da fundação passa a ser imprescindível para sua concepção e para sua análise. Nas situações de maior complexidade, a aplicação do conceito de radier estaqueado pode ser bastante útil, pois nesta concepção todo o sistema, composto pelas estacas, pelo bloco e pelo solo, responde em conjunto pelo desempenho da fundação quanto a cargas e a recalques. Essa abordagem também é válida em fundações mais simples, mas são nos grandes grupos, em situações de carregamento não-uniforme, por exemplo, que sua aplicação mostra-se mais eficiente e realista, quando comparada com os métodos tradicionais.

Devido à sua complexidade, a aplicação do conceito de radier estaqueado é mais bem desenvolvida com o auxílio de ferramentas computacionais que empregam métodos numéricos, como o Método dos Elementos Finitos (MEF). Este é o mais difundido atualmente para o estudo de estruturas de Engenharia, pois permite a avaliação integrada de todas as unidades constituintes, englobando modelos complexos de comportamento. As análises numéricas via MEF têm importância significativa na avaliação e no comportamento de raders estaqueados, pois permitem o estudo de diversos fatores que podem interferir na análise de um projeto de fundação. Além disso, possibilitam a previsão do comportamento do sistema de forma mais acurada que nos métodos tradicionais, por necessitar de poucas hipóteses simplificadoras.

Pretende-se com o presente trabalho construir uma ferramenta numérica para análise de raders estaqueados utilizando o MEF. O comportamento do sistema bloco-estaca-solo será analisado em conjunto, considerando o caráter tridimensional do problema. Almeja-se a obtenção de tensões e de deformações no bloco, nas estacas e no solo. Especificamente para o bloco, visa-se a obtenção dos esforços solicitantes e os recalques em diferentes posições do mesmo e para as estacas, a quantidade de carga vertical suportada e o respectivo recalque.

O programa será concebido de tal forma que a sua utilização seja mais simples quando comparado com outras ferramentas comerciais existentes. A validação do programa se dará por meio da comparação de seus resultados com a de outros em que também se utilizou o MEF. Além disso, pretende-se implementar algoritmos de otimização que possam identificar a posição e a profundidade mais adequada para o desempenho da fundação quanto aos esforços solicitantes nas estacas e no bloco e estudar o comportamento de raders estaqueados com estacas de diferentes comprimentos em um mesmo bloco.

O programa encontra-se em fase inicial de desenvolvimento e, assim, ainda não foram obtidos resultados com o mesmo. Desta maneira, este resumo dá ênfase à apresentação dos aspectos metodológicos do trabalho e, ao final, são apresentados os resultados esperados da pesquisa.

## 2 METODOLOGIA

A aplicação do MEF será feita utilizando a plataforma de programação C e apreciando rotinas já implementadas e comuns disponíveis na literatura, as quais serão devidamente avaliadas e verificadas. Além disso, outros algoritmos específicos serão elaborados durante a realização da pesquisa. Os elementos finitos tridimensionais a serem utilizados serão hexaédricos isoparamétricos, com oito e com vinte nós.

Para a construção do programa, denominado *Ferramenta Numérica para Análise de Fundações – FENF*, a modelagem numérica ao longo do período de pesquisa seguirá as seguintes etapas:

- Etapa 1: Aprendizado inicial da linguagem de programação – C. Consultaram-se materiais bibliográficos na área para que se verificasse a sintaxe de programação. Para tanto, desenvolveram-se pequenos programas para a aplicação de tais conceitos;
- Etapa 2: Consolidação do aprendizado. Desenvolveu-se um programa em C para análise de estruturas em regime linear-elástico bidimensional. Empregaram-se elementos finitos quadrilaterais de quatro e de oito nós. Este programa serve como “base” para o desenvolvimento da FENF;
- Etapa 3: Desenvolvimento do programa FENF para análise linear-elástica **tridimensional**. Destacam-se o desenvolvimento do modelo de Entrada de Dados a ser utilizado pelo usuário e a elaboração das funções de análise propriamente ditas, que permitirão a avaliação das tensões, das deformações e dos esforços solicitantes nos elementos de fundação. No momento, a pesquisa encontra-se nesta etapa;
- Etapa 4: Incorporação dos algoritmos de otimização no programa FENF;
- Etapa 5: Desenvolvimento de análises com o programa, realizando comparações de resultados com outras ferramentas semelhantes e aplicação em estudos de casos de fundações com estacas diferentes em um mesmo bloco.

A ferramenta numérica será composta de três módulos principais: entrada, processamento e saída de dados. Para a utilização do programa será elaborado um manual com exemplos que auxiliarão o usuário em cada uma destas etapas. A entrada de dados será feita por meio de um arquivo de texto padrão, no qual

deverão ser informados os parâmetros dos materiais, as ações e os tipos de análises a considerar. O processamento é a etapa em que os cálculos são realizados e os resultados obtidos. Por fim, estes serão apresentados em arquivos de saída de dados, por meio gráficos e valores tabulados. As principais características do programa serão:

- Existência de algoritmos de otimização do sistema de fundação que possibilitarão identificar os melhores comprimentos, posições e quantidade das estacas;
- Consideração de ações provenientes da superestrutura a partir de carregamentos verticais, horizontais e de momento, concentrados ou distribuídos;
- Principais resultados: cargas nas estacas e no radier, recalques nas estacas e ao longo de seções no bloco, momentos fletores e cortantes no bloco e distribuição de tensões e deformações no sistema de fundação.

Com relação aos resultados obtidos em programas diferentes, mas com um mesmo método numérico, verifica-se que não há uma solução fechada para problemas de sistemas de fundações em estacas (SALES, 2000). Para que as análises feitas com estes métodos aproximados possam ser consideradas válidas e confiáveis deve-se, primeiramente, realizar a sua verificação. Este procedimento consiste na comparação de resultados obtidos por esses métodos com os de outras soluções consideradas mais rigorosas (SALES, 2000). Isso pode ser feito a partir de outros programas ou por meio da análise dos resultados de ensaios em campo, como os de uma prova de carga estática. No presente trabalho, o programa construído será validado comparando os resultados de cargas nas estacas e de recalques totais e diferenciais no bloco. Para tanto, os trabalhos de referência, com a mesma formulação utilizada, são os de Ottaviani (1975), Long (1993), Russo (1996), O'Neil *et al.* (1996), Sales (2000), Sanctis (2000), dentre outros.

### **3 RESULTADOS ESPERADOS**

De maneira geral, é de fundamental importância que se alcancem os objetivos almejados, o que se configura na construção da ferramenta numérica em elementos finitos para análise de raders estaqueados. Com o programa, pretende-se a

realização de análises de comportamento de radiers estaqueados em geral e, principalmente, com a otimização do posicionamento e do comprimento das estacas. O sucesso da aplicação do programa poderá ser representado pela facilidade do seu emprego e pela disponibilização de dados para dimensionamento (cargas nas estacas e momentos no bloco). O programa poderá auxiliar os projetistas da região e representar uma ferramenta para o desenvolvimento de melhores projetos de fundações. Espera-se, por fim, a divulgação da pesquisa e das aplicações feitas na ferramenta numérica em periódicos internacionais.

## 4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro propiciado à pesquisa.

## 5 REFERÊNCIAS

LONG, P. D. **Footings with settlement-reducing piles in non-cohesive soil**. 1993, 179 p. PhD Thesis, Dep. of Geotechnical Eng. Chalmers Univ. of Technology, Gothenburg, Sweden, 1993.

OTTAVIANI, M. Three-dimensional finite element analysis of vertically loaded pile groups. **Géotechnique**, London, v. 25, n. 2, p. 159-174, 1975.

O'NEILL, M. W.; CAPUTO, V.; DE COCK, F.; HARTIKAINEN, J.; METS, M. **Case histories of pile-supported rafts**. Report for ISSMFE Technical Committee TC-18, University of Houston, Texas. 1996.

RUSSO, P. **Interazione terreno struttura per piastrini su pali**. 1996, 289 p. Tese de Doutorado, Univ. di Roma La Sapienza e di Napoli Federico II. Napoli. 1996.

SALES, M. M. **Análise do comportamento de sapatas estaqueadas**. 2000. 229 f. Tese de Doutorado, Publicação G.TD/002A, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. 2000.

SANCTIS, L. de. **Modellazione ed analisi di piastre su pali**. 2000, 304 p., Tese de Doutorado, Univ. di Roma La Sapienza e di Napoli Federico II, Roma. 2000.