

151579-4

## Utilização do supercomputador Cray Y-MP2E/232 para a simulação do comportamento de fundações superficiais

ROBERTO O. CUDMANI(\*)  
JOSE H. AVERBECK(\*\*)

(\*) Pesquisador do CPGEC da UFRGS, M.Sc.

(\*\*) Pesquisador do CPGEC da UFRGS

Curso de Pósgraduação em Engenharia Civil

Osvaldo Aranha 99 - 3ro Andar

Porto Alegre - RS - Brasil

**RESUMO** Neste trabalho o Método de Elementos Finitos é aplicado ao estudo do comportamento carga x recalque de fundações superficiais. A disponibilidade do supercomputador CRAY Y-MP2E/232 permitiu a utilização de modelos elastoplásticos para representar o comportamento tensão deformação do solo na resolução de problemas bidimensionais axisimétricos e tridimensionais. O pós-processamento dos resultados foi feito empregando os utilitários MPGS4.0 e 5.1.

**ABSTRACT** In this work The Finite Element Method was applied to study the load-settlement behaviour of shallow foundations. The supercomputer CRAY Y-MP 2E/232 was used to simulate elastoplastic stress-strain behavior of the soil in solutions of bidimensional axisymmetric and tridimensional problems. Analysis of the results was carried out using MPGS4.0 e 5.1.

### 1 INTRODUÇÃO

No passado, a Mecânica dos Solos e das Rochas foram consideradas disciplinas puramente empíricas. As complexidades encontradas em diferentes problemas tornava difícil a obtenção de soluções fechadas. Os trabalhos pioneiros de Terzaghi estabeleceram as primeiras bases científicas e matemáticas para a solução dos principais problemas geotécnicos encontrados na prática. Embora estas soluções constituem ferramentas úteis em muitas situações práticas, têm mostrado ser inadequadas para solução de problemas que incluem complexidades tais como: não homogeneidade do meio, comportamento não linear, tensões in-situ, variação temporal e espacial das propriedades do solo, condições geométricas complexas e discontinuidades.

Tendo em vista as limitações acima assinaladas, nas últimas décadas verificou-se um considerável interesse na utilização de métodos numéricos na geotecnia. A popularidade e versatilidade destas técnicas tem sido impulsionadas pela disponibilidade de computadores de alta velocidade e grande capacidade de memória.

Uma das técnicas numéricas mais difundidas entre os engenheiros e pesquisadores geotécnicos é o Método de Elementos Finitos (MEF). Basicamente o MEF baseia-se na discretização do contínuo em elementos de dimensões finitas e na adoção de um modelo para representar o comportamento tensão deformação do material que forma o contínuo, que, neste caso é o solo.

### 2 APLICAÇÃO DO MEF AO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Vários autores tem destacado a adequabilidade do MEF à resolução de problemas de interação solo-estrutura (Frank,1991). A versatilidade do MEF permite considerar deformação em duas e três dimensões, estratificação, não homogeneidade do solo e tensões in-situ. A superfície de contato solo-estrutura pode ser simulada com as mais variadas características físicas (lisa, rugosa, descontínua) e a estrutura representada com a sua verdadeira rigidez.

Neste trabalho foi empregado o programa CRISP90 desenvolvido na Universidade de Cambridge a partir do ano 1975. Uma descrição aprofundada do programa é apresentada por Britto e

Gunn (1987). O programa foi instalado no supercomputador e submetido a um processo de vetorização para melhorar sua performance. A execução do programa e o pós-processamento dos resultados foi automatizado através de três programas utilizando o interpretador de comandos do Sistema Operacional UNIX (*SHELL*). Cabe destacar que a velocidade de execução do programa foi aumentada em aproximadamente 50 vezes, com respeito a um microcomputador 486 (66 MHz). O pré-processamento de dados foi realizado em microcomputador no caso bidimensional e utilizando o pré-processador do programa de Elementos Finitos ANSYS5.0 no caso tridimensional. O pós-processamento foi realizado nas estações SILICON GRAPHICS do Centro de Supercomputação da UFRGS. Alguns dos utilitários empregados foram o GNUPLOT (visualização de curvas carga x recalque) e os programas MPGS4.0 e 5.1 (visualização de malhas originais, malha deformada, campos de deslocamentos, etc.).

Para representar o comportamento tensão-deformação do solo foi utilizado o modelo elástico-perfeitamente plástico com o critério de plastificação de Mohr-Coulomb.

### 3 RESULTADOS

Para determinar a influência dos parâmetros do modelo elástico-perfeitamente plástico (critério de plastificação de Mohr-Coulomb) sobre a forma da curva carga x recalque obtida na simulação, foi realizado um estudo paramétrico das variáveis envolvidas: Módulo de Elasticidade ( $E$ ), ângulo de resistência ao cisalhamento ( $\varphi$ ) e coesão ( $c$ ) (Cudmani, 1994). A Figura 1 resume os resultados obtidos das análises anteriores. O módulo de elasticidade tem grande influência na forma inicial da

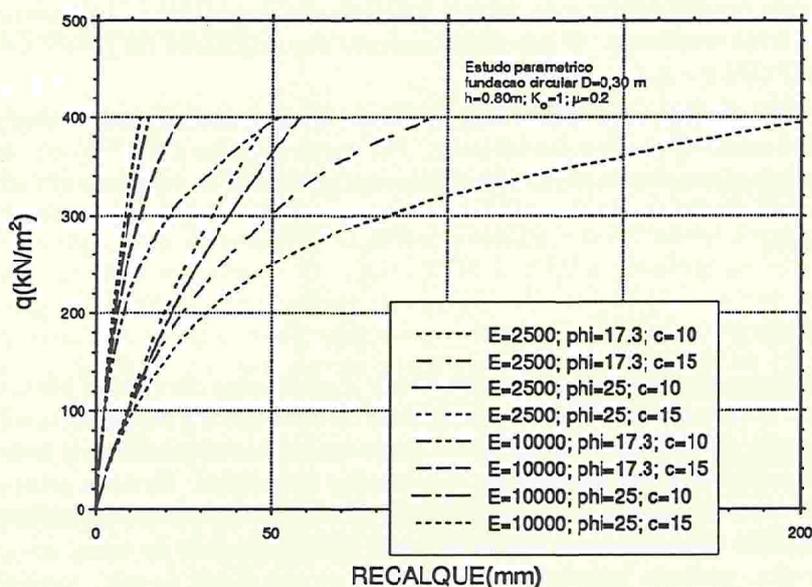


Figure 1: Estudo paramétrico - Modelo Elástico-perfeitamente Plástico.

curva, o ângulo de atrito influi na forma da mesma após o tramo linear e a coesão afeta a forma da curva nas zonas próximas à ruptura. As figuras 2 e 3 ilustram os campos de deslocamentos verticais para dois pares de valores de coesão e ângulo de resistência ao cisalhamento ( $[c, \varphi]$  e  $[2/3c, 2/3 \arctan(2/3 \tan \varphi)]$ ). Como pode ser observado a redução dos parâmetros resistentes provoca uma diminuição do volume de solo afetado pelas deformações, uma concentração destas numa zona mais próxima à fundação e um aumento do recalque da fundação, para um mesmo nível de carregamento.

Embora a análise axissimétrica de sapatas quadradas seja uma ferramenta válida do ponto de vista prático, ela desconsidera o efeito da forma sobre o comportamento carga x recalque. Para avaliar em forma qualitativa este efeito foi realizada a análise tridimensional de uma sapata de 0,70m de lado, assente a uma profundidade de 1,20m. O solo e a sapata foram discretizados utilizando 952 elementos prismáticos de 16 nós. Os resultados mostraram que no tramo inicial da curva carga x recalque as previsões axissimétrica e tridimensional são idênticas, por outro lado, no tramo final da curva carga x recalque a análise axissimétrica subestima o comportamento do sistema solo-fundação. A figura 4 apresenta os contornos de igual deslocamento vertical para uma carga aplicada de 400  $kN/m^2$ .

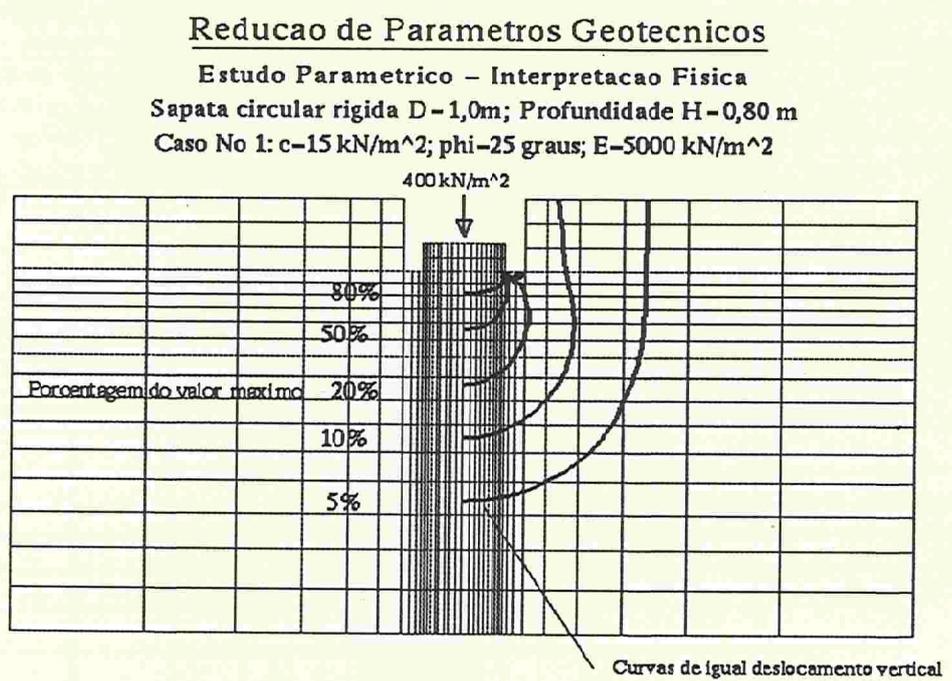


Figure 2: Contornos de igual deslocamento vertical - Caso 1: parâmetros resistentes sem redução

#### 4 CONCLUSÕES

O comportamento de fundações superficiais e profundas foi simulado utilizando o programa CRISP90 instalado no supercomputador CRAY Y-MP2E/232. O estudo paramétrico, realizado em ambos casos, permitiu avaliar a influência das diferentes variáveis envolvidas na análise. Os resultados obtidos, indicaram que o modelo elástico-perfeitamente plástico (com o critério de plastificação de Mohr-Coulomb) é adequado ao estudo do comportamento carga x recalque de fundações em solos estruturados parcialmente saturados.

#### Referências Bibliográficas

BRITTO, A. M.; GUNN, M. J. *Critical state soil mechanics via finite element*. New York, Ellis Horwood, 1987. 486p.

CUDMANI, R. O.. *Estudo do comportamento de fundações superficiais assentes em solos parcialmente saturados através de ensaios de placa*. Porto Alegre:CPGEC, 1994. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, UFRGS.

FRANK, R. Some recent developments on the behavior of shallow foundations. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUNDATION ENGINEERING, 10., 1991, Florence. *Proceedings...* v.3, p.1-27.

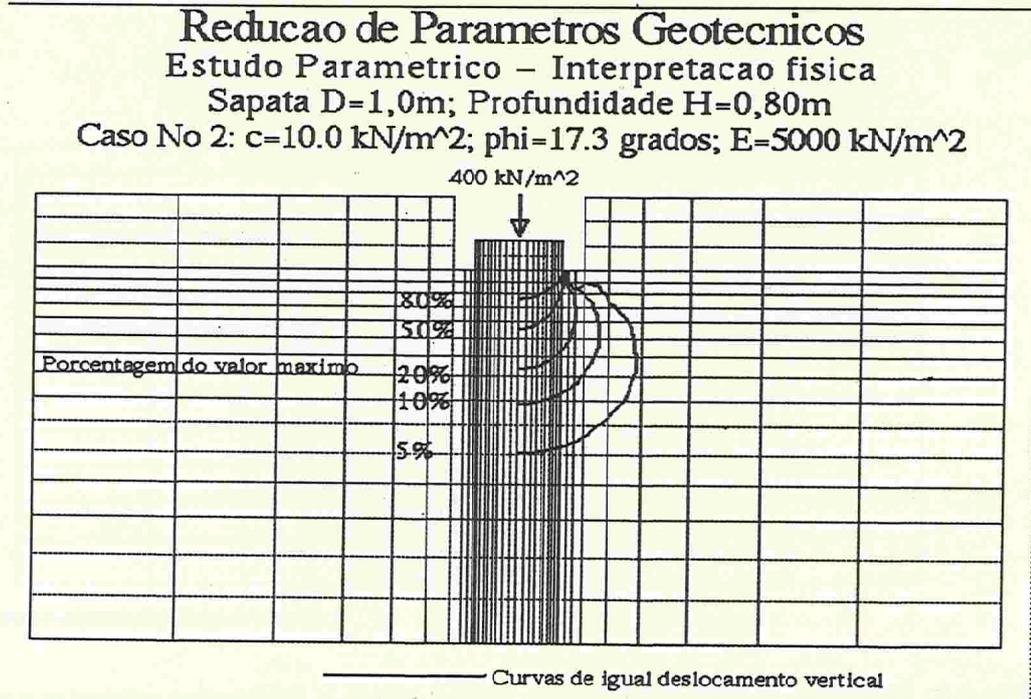


Figure 3: Contornos de igual deslocamento vertical - Caso 2: parâmetros resistentes reduzidos a dois terços dos valores originais

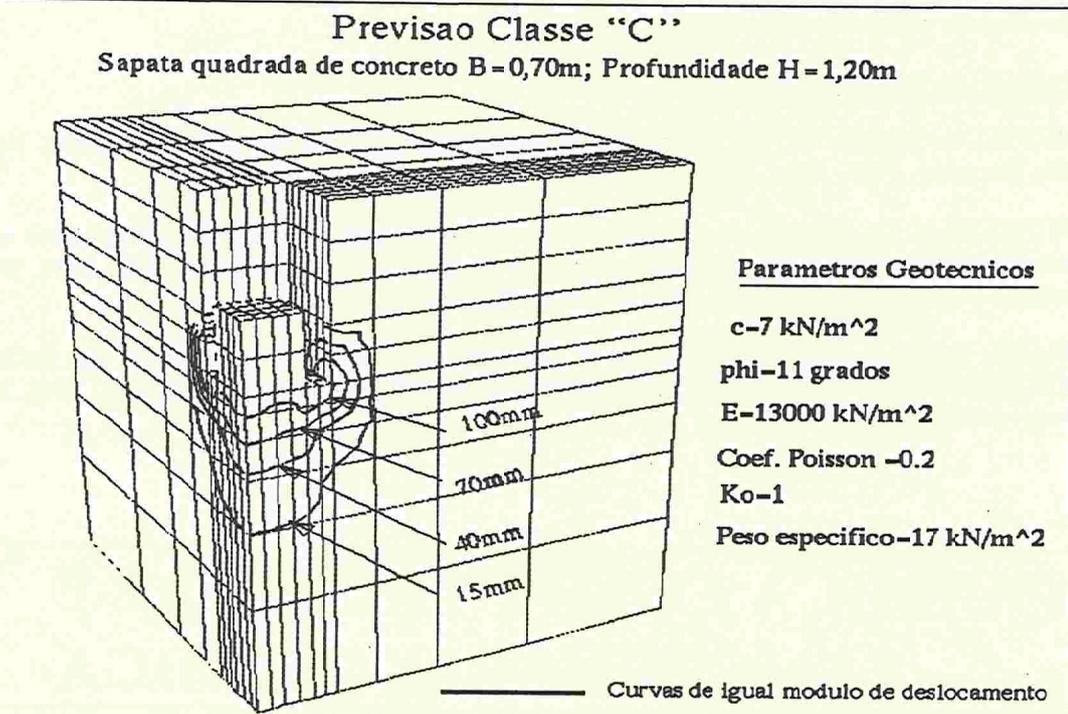


Figure 4: Análise tridimensional - Contornos de igual deslocamento vertical.