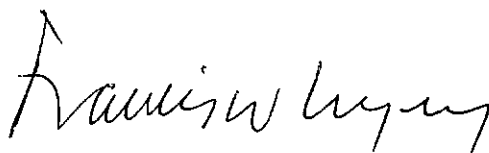


CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE
ASSOCIAÇÕES SAPATA-ESTACA

Marcus Bergman

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA CIVIL.

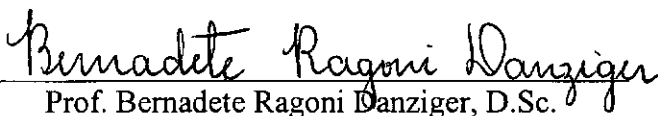
Aprovada por:



Prof. Francisco de Rezende Lopes, Ph.D.
Presidente



Prof. Dirceu de Alencar Velloso, D.Sc.



Prof. Bernadete Ragoni Danziger, D.Sc.

BERGMAN, MARCUS

Contribuição ao estudo do
comportamento de associações sapata-estaca
[Rio de Janeiro] 1998

VII, 85 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,
M.Sc., Engenharia Civil, 1998)

Tese – Universidade Federal do Rio
de Janeiro, COPPE

1. Fundação mista

I. COPPE/UFRJ II Título (série)

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmão, pelo imenso incentivo e confiança depositada.

Ao Prof. Francisco de Rezende Lopes, pela orientação e incentivo nos momentos de desânimo, amizade e revisão do texto.

À minha namorada, pelo apoio irrestrito e carinho nos momentos mais difíceis.

Aos colegas da GEO-RIO, pelo apoio, incentivo e amizade.

Aos docentes do Programa de Engenharia Civil, pelos ensinamentos e espírito científico em mim depositados.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, (CAPES) pelo apoio financeiro durante o curso e elaboração desta tese.

Aos meus verdadeiros amigos, que sempre me estimularam no cumprimento desta importante etapa da vida profissional.

Ao Eng^o Luís Otávio Martins Vieira, pelo incentivo e digitalização das figuras do capítulo 2.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ASSOCIAÇÕES
SAPATA-ESTACA

Marcus Bergman

Março/1998

Orientador: Francisco de Rezende Lopes

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho desenvolve um estudo paramétrico para associações sapata-estaca, apoiado no Método de Elementos Finitos. Após uma breve revisão bibliográfica, foram analisados os comportamentos elástico-lineares de dois tipos de associações em início de uso no Brasil: a Estaca T e a Estapata. Foram produzidos ábacos que podem ser utilizados no pré dimensionamento destes tipos de fundação, entrando com as condições de contorno do problema para a obtenção dos níveis de recalque. Além de delinear uma diretriz de projetos, baseada no estudo paramétrico realizado, procura-se apreciar o comportamento elástico não linear da Estaca T, buscando conhecimento de aspectos importantes neste complexo problema de interação solo-estrutura.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master do Science (M.Sc.).

A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE BEHAVIOUR OF PILE-FOOTING
ASSOCIATIONS

Marcus Bergman

March/1998

Supervisor: Francisco de Rezende Lopes

Department: Civil Engineering

A theoretical study of pile-footing associations is carried out with the aid of the Finite Element Method. Following a literature review, both linear and non-linear elastic analyses are performed of two types of such associations used in Brazil: the “T-pile” (Estaca T) and the “Footing-pile” (“Estapata”). The study allowed the preparation of graphs that can be used in the prediction of settlements of these foundations. The non-linear elastic analysis of the “T-pile” helps the understanding of the complex soil-structure interaction problem of this type of foundation.

ÍNDICE

	Pág
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2	
RADIERS ESTAQUEADOS E ASSOCIAÇÕES SAPATA-ESTACA: REVISÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE	
2.1- INTRODUÇÃO	4
2.2- RADIERS ESTAQUEADOS	
2.2.1- Métodos empíricos para determinação de recalques de grupos de estacas	4
2.2.2- Método da superposição de fatias para radiers estaqueados	6
2.2.3- Método de Poulos e Davis	7
2.2.4- Método de Hain e Lee	10
2.2.5- Método de Randolph	12
2.3- ASSOCIAÇÕES SAPATA-ESTACA	
2.3.1- Metodologia de pré dimensionamento de Cepollina et al.	15
CAPÍTULO 3	
ESTUDO DO COMPORTAMENTO ELÁSTICO LINEAR DA ESTAPATA	
3.1- INTRODUÇÃO	19
3.1.1- Geometria do problema	19
3.2- ASPECTOS TEÓRICOS	20
3.3- ESTUDO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO CARGA-RECALQUE	22
3.3.1- Dimensão da sapata/diâmetro da estaca	22
3.3.2- Afastamento entre o topo da estaca e a base da sapata	25
3.3.3- Comprimento da estaca	27
3.3.4- Variação linear do módulo de elasticidade com a profundidade	29
3.3.5- Presença da estratificação do solo	30
3.4- PREVISÃO DO COMPORTAMENTO ELÁSTICO-LINEAR	32
3.5- ESTUDO PARAMÉTRICO E ÁBACOS	34
CAPÍTULO 4	
ESTUDO LINEAR E NÃO LINEAR DO COMPORTAMENTO DA ESTACA T	
4.1- PREVISÃO DO COMPORTAMENTO ELÁSTICO LINEAR	39
4.2- ESTUDO PARAMÉTRICO	40
4.3- REDUÇÃO DE RECALQUES EM FUNÇÃO DA PROXIMIDADE DA FRONTEIRA RÍGIDA	46
4.4- COMPORTAMENTO ELÁSTICO NÃO LINEAR DA ESTACA T	49

CAPÍTULO 5	
APLICAÇÕES	
5.1- ESTUDO DE UM CASO HIPOTÉTICO	60
5.1.1- Uso dos ábacos desta Tese	61
5.2- ESTUDO DE UM CASO REAL	65
CAPÍTULO 6	
CONCLUSÕES	66
BIBLIOGRAFIA	68
APÊNDICE A1	71
APÊNDICE A2	77
APÊNDICE A3	84
APÊNDICE A4	85

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Uma reportagem da revista “Construção São Paulo” de 01/08/94 levantou, no meio técnico brasileiro, uma polêmica relacionada com o projeto e execução de radiers estaqueados. Envolvidos no debate, estiveram diversos engenheiros e renomados consultores de fundações, discutindo e apreciando a concepção de cálculo e economia que, segundo alguns, garantem a redução de custos sem decréscimo da eficiência e segurança.

Baseada nos trabalhos de H.G. Poulos, em seus diversos anos de estudos sobre o assunto, fora lançada no mercado uma “nova” concepção de fundação na qual o elemento vertical de suporte, a estaca, vem servir como peça limitadora de recalques e não como elemento único na absorção de esforços e recalques, induzidos pelo carregamento da estrutura. Neste novo sistema tem-se a presença de um elemento vertical intimamente ligado (ou não) à fundação direta, recebendo parcela de carga proveniente do carregamento e limitando os recalques absolutos e diferenciais da estrutura. Desta forma, portanto, a fundação rasa continuaria a desempenhar seu trabalho, transmitindo apenas parte de suas cargas à estaca.

Assim, foram introduzidos no mercado brasileiro dois conceitos de fundações mistas com um mesmo propósito: o de tornar os níveis de recalques compatíveis com a solução em estaca, porém mais econômicos - a Estaca-T e a Estapata. Estes conceitos serão elucidados no decorrer do corrente trabalho e terão o seu desempenho analisado à luz do Método dos Elementos Finitos. Será desenvolvido um estudo paramétrico dos elementos que influenciam o comportamento carga x recalque do conjunto, trazendo à tona qualitativamente e quantitativamente os fatores de influência, cargas absorvidas

pelos respectivos elementos, regiões de tensões cisalhantes máximas e outros aspectos de fundamental importância no dimensionamento, modelagem e entendimento do mecanismo de transferência de cargas e recalques.

O estudo apresentado procura elevar o conhecimento do comportamento dos dois tipos de fundações descritos e em início de uso no Brasil. Foi realizado um estudo paramétrico do comportamento de associações sapata-estaca, mais precisamente da Estapata e da Estaca-T, com intenção de uma análise da interação solo-estrutura destes tipos de fundação.

Como ferramental de trabalho, utilizamos o programa de Método de Elementos Finitos PROGEO2, desenvolvido na COPPE sob orientação do Prof. Francisco Lopes. Nele definem-se malhas de elementos, caracterizando as associações sapata-estaca, sofrendo esforços axiais, assemelhado a um problema axissimétrico. Em todos os estudos apresentados o problema continha um único elemento vertical de fundação (estaca).

Para o caso da Estaca T, o solo foi modelado como homogêneo e heterogêneo, com módulo de elasticidade variando com a profundidade ou com estratificação. Foi verificada a influência da proximidade da fronteira rígida à ponta da estaca. A Figura 1.1 mostra a geometria e modelagem básica do problema.

A tese é constituída por 6 capítulos, contendo o segundo uma revisão bibliográfica. Os dois capítulos seguintes apresentam análises pelo Método de Elementos Finitos do comportamento de Estapatas e de Estacas T. O capítulo 5 apresenta exemplos de cálculo. O capítulo final contém conclusões e sugestões para pesquisas futuras.

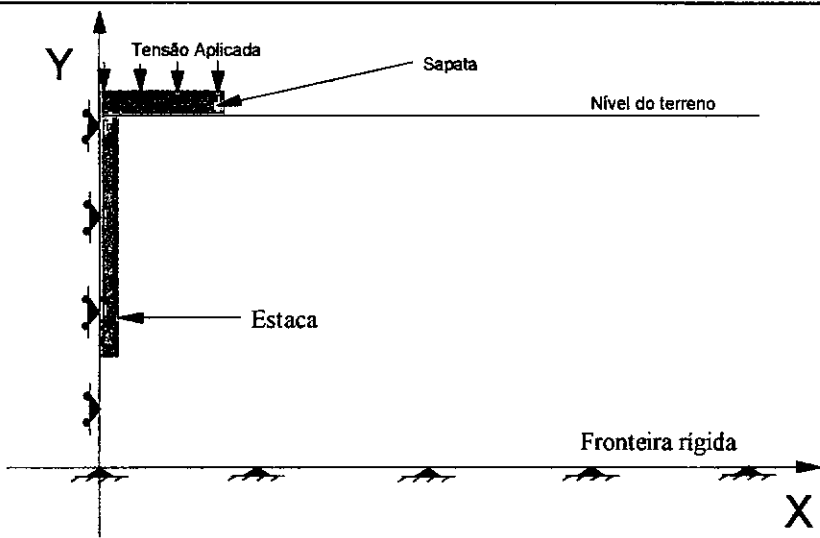


Figura.1.1- Modelo básico de análise do problema de associação sapata-estaca

CAPÍTULO 2

RADIERS ESTAQUEADOS E ASSOCIAÇÕES SAPATA-ESTACA: REVISÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE

2.1 INTRODUÇÃO

O estudo do mecanismo de transferência de cargas e os conseqüentes recalques em uma associação sapata-estaca é bastante complexo e necessita de uma análise da interação solo-estrutura. Esta interação deve levar em conta vários fatores relevantes no comportamento, como o comportamento tempo-tensão-deformação (reologia) dos elementos presentes no sistema, os fatores relacionados com a instalação dos elementos verticais de fundação, além da geometria do sistema (largura da sapata, dimensão da estaca, distância entre estacas, etc.). Em presença de tão numerosas variáveis, não existe um modelo matemático capaz de considerá-las em sua totalidade. Entretanto, algumas propostas simplificadas de análise já foram apresentadas para uma avaliação do comportamento do sistema. Neste capítulo resume-se algumas das mais conhecidas e usadas.

2.2 RADIERS ESTAQUEADOS

2.2.1 Métodos empíricos para determinação de recalques de grupos de estacas

Diferentes métodos empíricos foram sugeridos para analisar a razão $-\xi-$ entre os recalques obtidos em um grupo de estacas, e aquele causado por uma única estaca, absorvendo um carregamento médio equivalente a uma estaca do grupo. Como estes métodos advieram de resultados de modelos experimentais em que, na maior parte dos casos, preocupa-se com a geometria do problema, sugere-se a utilização de seus

resultados com precaução e em situações em que haja semelhança com os testes executados.

A relação entre recalques ξ foi proposta por diversos autores e descrita em Long (1993), entre eles:

(1)- Skempton (1953) para o cálculo dos recalques de um grupo de estacas

$$\xi = \frac{(13.1B_g + 9)^2}{(3.28B_g + 12)^2} \quad (2.1)$$

onde B_g = dimensão do grupo de estacas em metros.

(2)- Meyerhof (1959) propôs uma formulação que levasse em conta o espaçamento entre as estacas de um mesmo grupo e sugeriu

$$\xi = \frac{c(5 - c/3)}{\left(1 + \frac{1}{n_r}\right)} \quad (2.2)$$

onde c = razão entre distância entre estacas e diâmetro da estaca = S/d e

n_r = número de linhas de um grupo de estacas.

(3)- Vesic (1969) propôs

$$\xi = \sqrt{B_g/d_p} \quad (2.3)$$

onde d_p = é o diâmetro da estaca.

(4)- Randolph desenvolveu uma aproximação bastante útil na prática (ver Fleming et al, 1992) na qual propõe

$$\xi = n^w \quad (2.4)$$

onde n = número de estacas do grupo e

w = expoente que varia entre 0.2 e 0.6. Poulos (1989) sugere um valor prático de 0.33 para grupo de estacas flutuantes em areia e 0.5 para estacas em argila.

2.2.2 Método da superposição de fatias para radiers estaqueados

Brown et al. (1976) desenvolveram um método aproximado para cálculo dos recalques de um radier estaqueado, baseado na divisão do mesmo em fatias, cujas fronteiras seriam limitadas pela linha média definida entre cada duas linhas de estacas. Este método pode ser utilizado em casos em que o carregamento é uniforme e nos casos em que há um carregamento de coluna idêntico para cada uma das estacas. Existe a possibilidade de superposição de efeitos, causados por outras fatias vizinhas à estudada, estimando-se os recalques totais para o ponto em averiguação. A Figura 2.1 mostra uma situação possível de cálculo, onde se deseja encontrar o recalque relativo ao ponto central do radier estaqueado (C). O radier é dividido em três tiras mostradas na Figura 2.1 e com um carregamento uniformemente distribuído nas tiras q_a e q_b , sendo o recalque no no ponto C devido apenas à tira central igual a w . Considera-se então, os

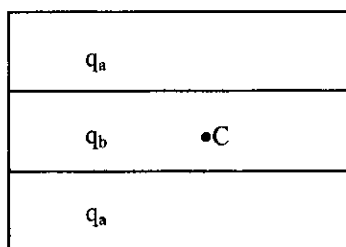


Figura 2.1 - Situação de superposição de efeitos para o cálculo dos recalques

recalques no ponto devido à uma das outras tiras como sendo igual a $q_a I_a$ e o recalque no ponto devido à tira central igual a $q_b I_b$, onde I_a e I_b são fatores de influência, devido a um carregamento superficial corrido (Giroud, 1968). O recalque será então descrito como a superposição dos efeitos:

$$\text{Recalque devido à tira central} = q_b I_b \quad (2.5)$$

$$\text{Recalque devido às três tiras} = q_b I_b + 2q_a I_a \quad (2.6)$$

sendo w_c o recalque no ponto C no centro da tira central. Assim poderemos calcular

$$w_c = w \frac{q_b I_b + 2q_a I_a}{q_b I_b} \quad (2.7)$$

onde w é o recalque de uma tira do radier estaqueado

2.2.3 Método de Poulos e Davis

A fundação estudada no trabalho de Poulos e Davis (1980) foi definida como sendo uma estaca acoplada a um disco rígido de concreto (diâmetro d_c), apoiado sobre o solo.

Para a estimativa dos recalques de uma fundação, Poulos and Davis (1980) apresentam um gráfico comparativo entre os recalques de uma estaca e a contribuição no decréscimo dos recalques, devido à presença do bloco de coroamento da estaca. O gráfico comparativo pode ser visto na Figura 2.2, onde podemos notar o claro decréscimo da influência do bloco à medida que o comprimento da estaca aumenta, ou seja, à medida que a rigidez da estaca aumenta dentro do sistema. É possível através do gráfico da Figura 2.2 entrar com a relação adimensional de comprimento da estaca (L) e o diâmetro da estaca (d), bem como a relação do diâmetro do bloco (d_c) pelo diâmetro da estaca e obter o valor de R_c , onde

$$R_c = \frac{\text{Recalque da unidade com o disco rígido}}{\text{Recalque de uma estaca livre}} \quad (2.8)$$

A partir dos recalques de uma das fundações é possível prever acréscimos nos recalques, devido à proximidade de fundações adjacentes. Assim, a interação entre os

recalques de duas unidades iguais e igualmente carregadas pode ser expressa em termo de um fator de interação α_r , onde

$$\alpha_r = \frac{\text{Recalque adicional provocado por uma unidade adjacente}}{\text{Recalque de uma unidade}} \quad (2.9)$$

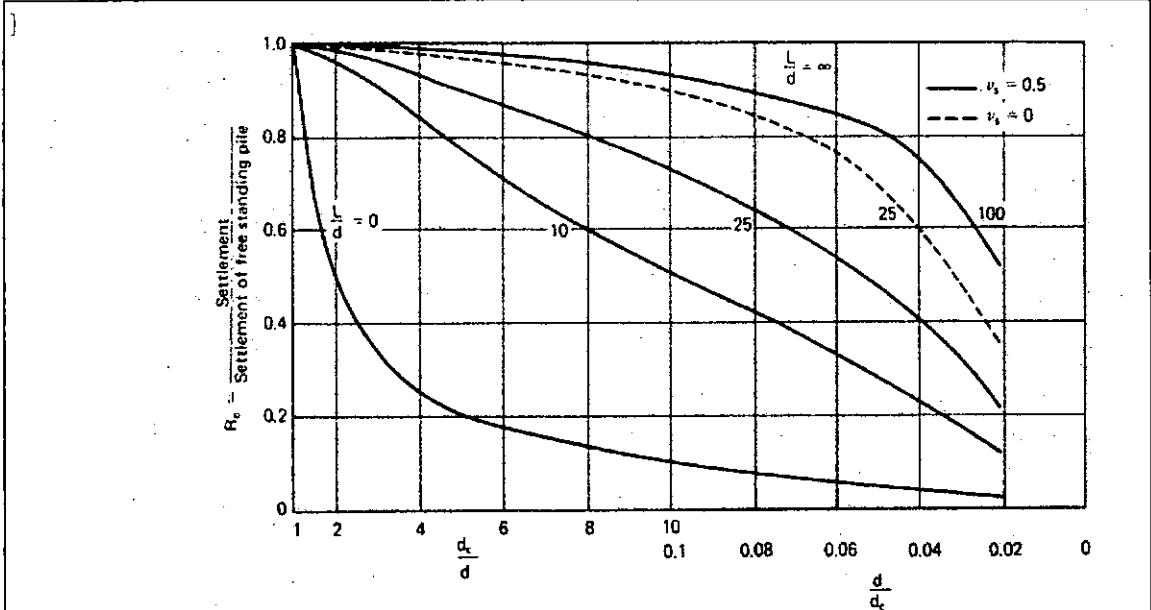


Figura 2.2 – Efeito do bloco de coroamento nos recalques. Bloco de diam. d_c (Poulos and Davis, 1980)

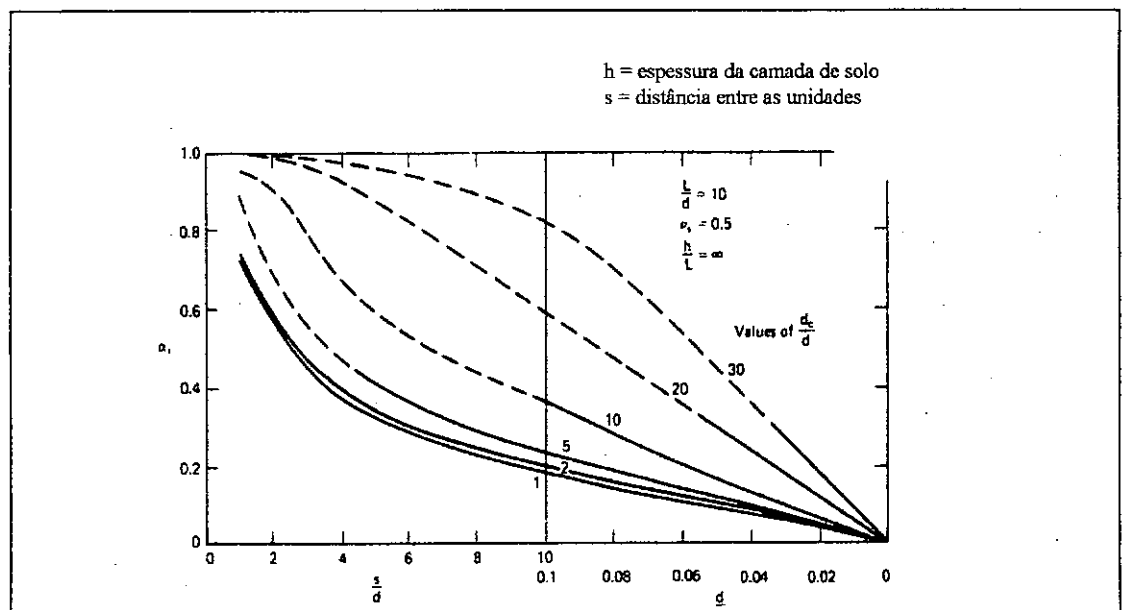
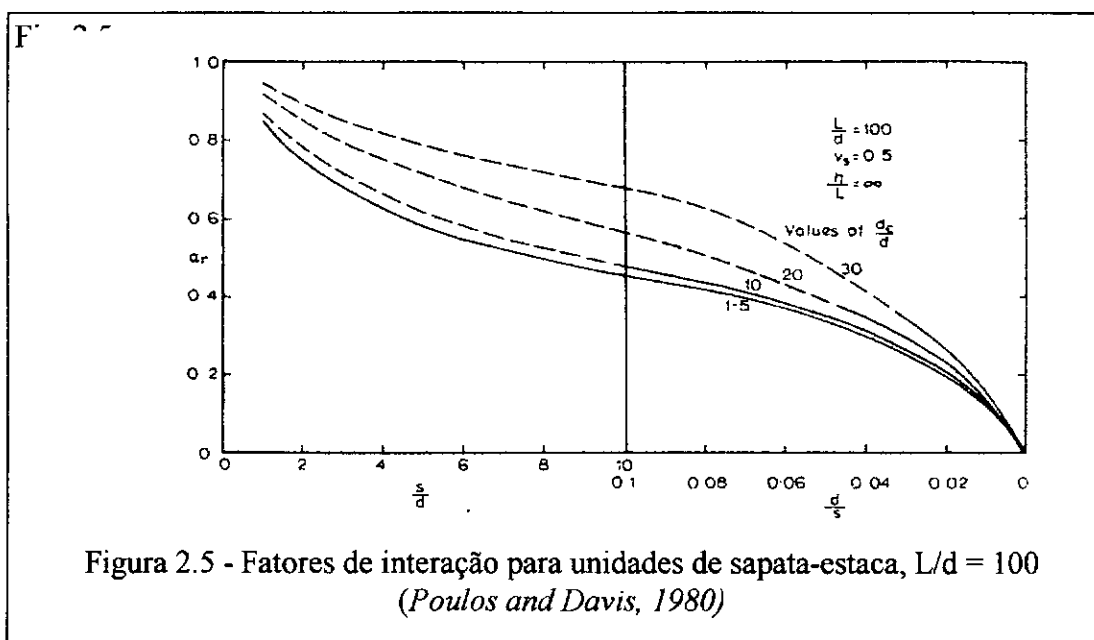
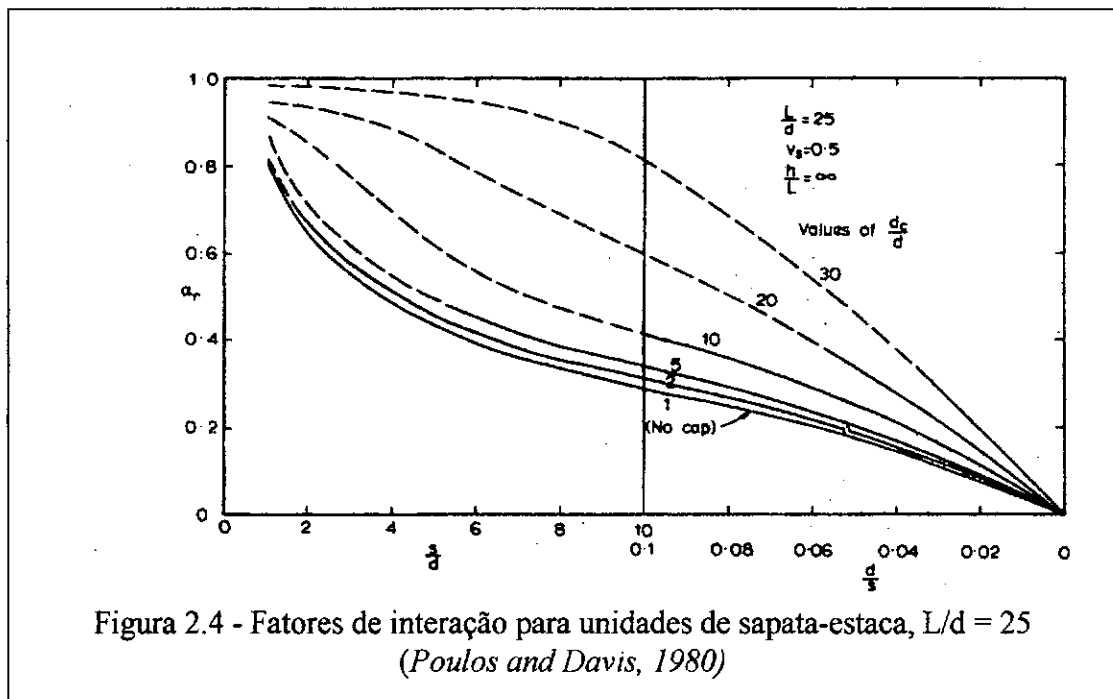


Figura 2.3 – Fatores de interação para unidades de sapata-estaca, $L/d = 10$ (Poulos and Davis, 1980)

As Figuras 2.3 à 2.5 mostram as relações obtidas para um estudo paramétrico, desenvolvido pelos autores com os valores de saída de α_r . As estacas foram consideradas incompressíveis ($K = \infty$), os blocos de coroamento rígidos e as unidades inseridas em um meio semi-infinito de solo ($h/L = \infty$). Os valores de entrada para os gráficos são as relações adimensionais já definidas e a relação de s/d , ou seja, espaçamento entre uma unidade adjacente (s) e o diâmetro da estaca (d).



Para situação em que tenhamos um arranjo quadrado de estacas teremos

$$s^2 = \pi d_c^2/4 \quad (2.10)$$

levando a

$$d_c/d = s \sqrt{\frac{4}{\pi}} /d \quad (2.11)$$

Poulos e Davis (1980) avaliam ainda o efeito de superposição de efeitos de uma configuração qualquer de unidades básicas e dizem que para um sistema de n unidades o recalque de uma unidade i pode ser dado por

$$w_i = \bar{w}_1 \left[\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\bar{P}_j \alpha_{rij}) + \bar{P}_i \right] \quad (2.11)$$

onde

α_{rij} = o valor de α_r para o valor equivalente de d_c/d de uma unidade j correspondendo o espaçamento entre as unidades i e j

\bar{P}_j = carga na unidade j

\bar{w}_1 = o recalque de uma unidade de sapata sobre estaca sob um carregamento unitário

$$\bar{w}_1 = R_c w_1 \quad (2.12)$$

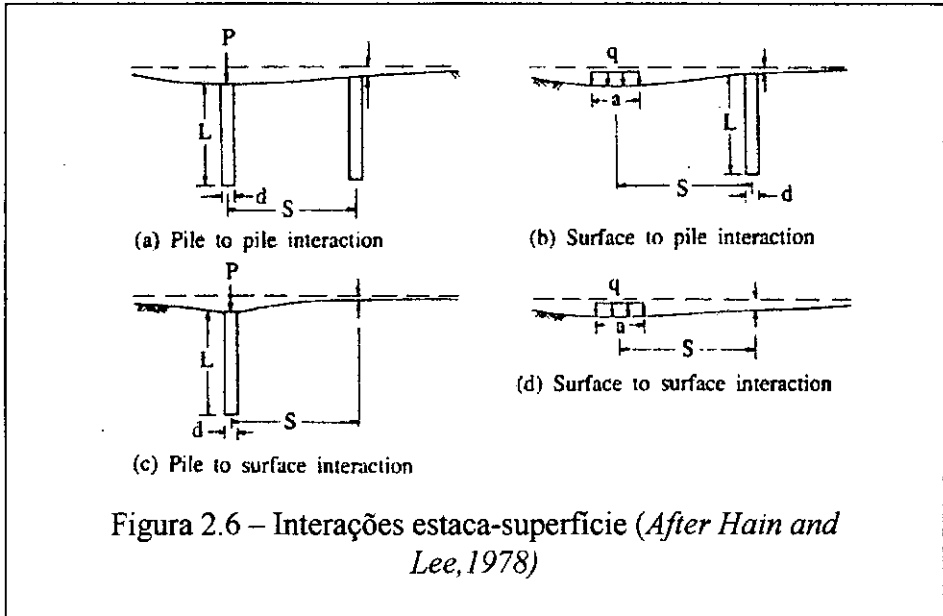
R_c = Relação expressa na equação (2.9)

w_1 = o recalque de uma estaca sob um carregamento unitário.

2.2.4 Método de Hain e Lee

O método apresentado por Hain e Lee (1978) estuda diferentes tipos de interação distintos, apresentados na Figura 2.6.

Para os fatores de interação dos diferentes casos apresentados, poderemos utilizar os fatores definidos:



β_{pij} = fator de interação estaca-superfície do solo =

$$\frac{\text{Recalque adicional na estaca } i \text{ devido ao carregamento de superfície unitário } j}{\text{Recalque da estaca } i \text{ ocasionado pelo o carregamento unitário}} \quad (2.13)$$

β_{sij} = fator de interação superfície do solo-estaca =

$$\frac{\text{Recalque adicional da superfície } i \text{ devido ao carregamento unitário da estaca } j}{\text{Recalque da superfície } i \text{ ocasionado pelo carregamento unitário}} \quad (2.14)$$

Para a interação estaca-estaca os valores de interação propostos por Poulos e Davis (1980) são válidos.

Hain e Lee (1978) utilizaram o M. E. F. para o estudo dos fatores de interação. A malha de elementos finitos é subdividida em m pontos nodais, em que em n destes

pontos localizam-se as estacas. Os demais pontos nodais são carregados com uma sobrecarga uniforme, simulando a contribuição de carga do solo. O deslocamento vertical da estaca i , w_i pode então ser dado por:

$$w_i = w_1 \sum_{j=1}^n (\alpha_{ij} p_j) + w_1 \sum_{j=n+1}^m (\beta_{pij} q_j A_j) \quad (2.15)$$

onde, w_1 = deslocamento de uma estaca sob um carregamento unitário

p_j = carregamento da estaca sob o nó j

α_{ij} = fator de interação entre as estacas i e j

q_j = pressão uniforme aplicada sobre a superfície no nó j

A_j = área da superfície no nó j

2.2.5 Método de Randolph

Randolph (1983) sugeriu um método simplificado de análise de radier, estaqueado através da combinação da rigidez da sapata e do grupo de estacas. Este estudo é baseado no fator de interação médio entre as estacas e a sapata (α_{cp}). A rigidez total do sistema (k_f) foi obtido de:

$$k_f = \frac{k_g + k_c \left(1 - 2\alpha_{cp} \right)}{1 - \alpha_{cp}^2 k_c / k_g} \quad (2.16)$$

onde k_g = a rigidez do grupo de estacas.

Entende-se por rigidez a carga total aplicada dividida pelo recalque total.

k_c = a rigidez da sapata

$$\alpha_{cp} = \frac{\ln(r_m/r_c)}{\ln(r_m/r_0)} = 1 - \frac{\ln(r_c/r_0)}{\xi} \quad (2.17)$$

r_m = o raio de influência da estaca (ver Eq 2.19)

r_c = o raio efetivo da sapata associada à cada estaca, podendo ser calculada para que a área correspondente a um grupo de n estacas, $n\pi r_c^2$, possa ser

igualada à área total da sapata A_c . Assim $r_c = \sqrt{\left(\frac{A_c}{n\pi}\right)}$.

r_0 = raio da estaca

$$\xi = \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right) \quad (2.18)$$

O raio de influência da estaca (r_m) pode ser dado, de forma geral, segundo a expressão da equação:

$$r_m = \left\{ 0,25 + \xi [2,5 \rho (1 - \nu) - 0,25] \right\} l_p \quad (2.19)$$

onde l_p = o comprimento da estaca

ν = o coeficiente de Poisson do solo

ρ = o grau de homogeneidade do solo, variando de 0,5, para a situação de enrijecimento do solo com a profundidade, a 1,0, para solos homogêneos.

A proporção da carga suportada pela sapata P_c em relação àquela suportada pelo grupo de estacas P_g pode ser dada por

$$\frac{P_c}{P_c + P_g} = \frac{k_c (1 - \alpha_{cp})}{k_g + k_c (1 - 2\alpha_{cp})} \quad (2.20)$$

e o recalque do sistema de sapata sobre estacas dado por:

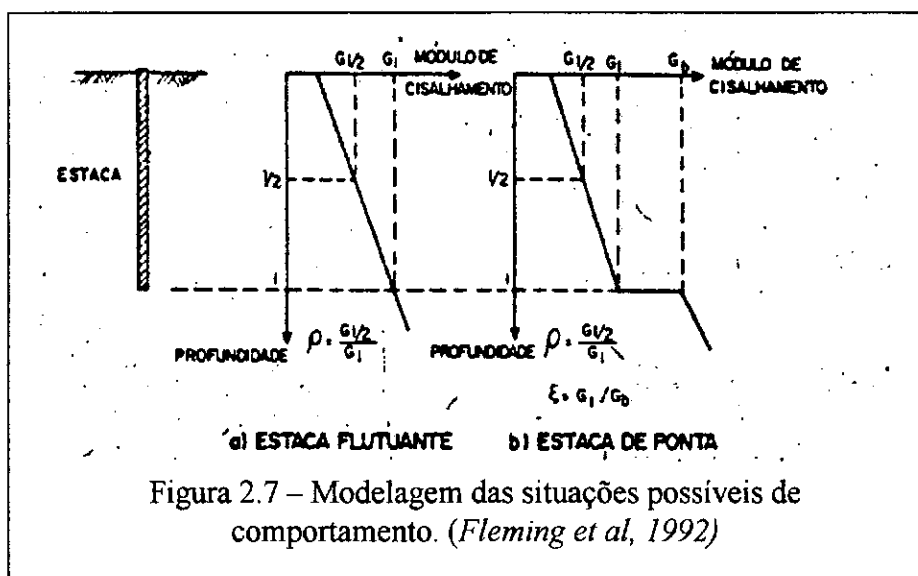
$$w_f = w_I + w_{II} \quad (2.21)$$

onde w_I = recalque da sapata devido ao carregamento total menos o absorvido pelas estacas

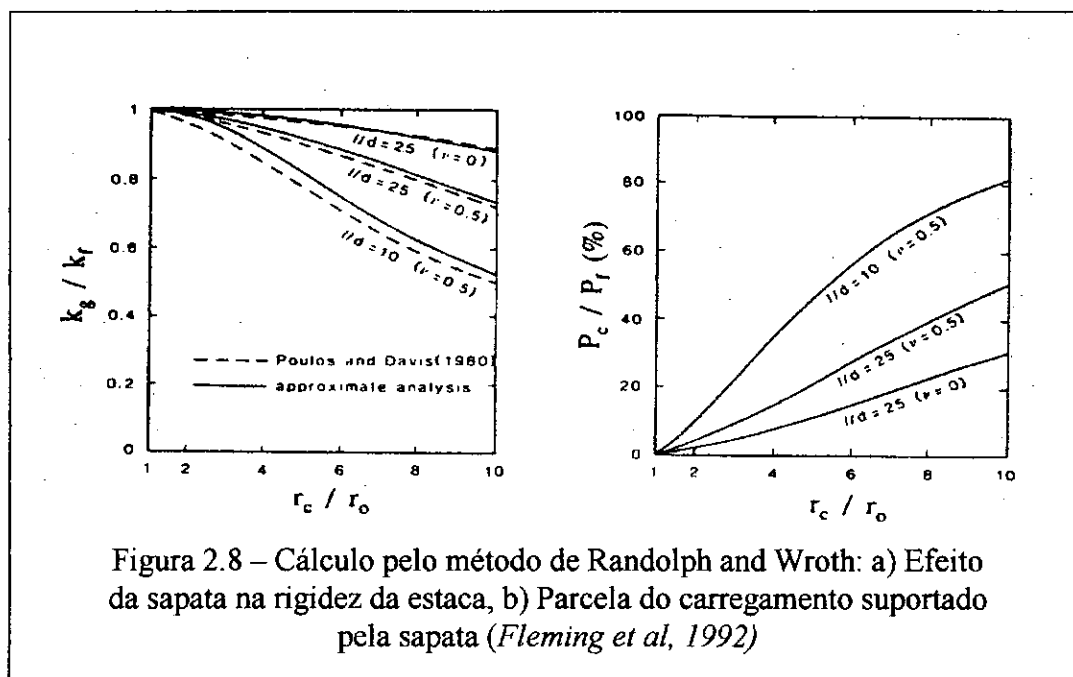
w_{II} = recalque adicional devido ao carregamento suportado pelas estacas

O valor de w_{II} pode ser estimado como $w_{II} = \alpha_{cp} \xi w_{su}$, onde w_{su} é o recalque necessário para mobilizar a capacidade de carga total da estaca.

Long (1993) conclui que os resultados do método aproximado de Randolph (1983) são próximos aos de Poulos e Davis (1980), e se assemelham às conclusões encontradas por Butterfield and Banerjee (1971). A Figura 2.8 mostra um gráfico comparativo das soluções aproximadas de Randolph e Worth e de Poulos and Davis,



além da parte das cargas totais, suportadas pela sapata.



O trabalho de Long (1993) apresenta uma revisão dos métodos de análise existentes para previsão do comportamento de radiers estaqueados, bem como resultados de ensaios realizados em escala natural. Propõe um procedimento de cálculo e previsão do comportamento do radier estaqueado para solos arenosos, baseado nas observações de campo.

2.3 ASSOCIAÇÕES SAPATA-ESTACA

As associações sapata-estaca podem ser subdivididas em dois grandes grupos, a saber: o grupo em que a estaca encontra-se intimamente ligada à sapata (Figura 2.9) e o grupo em que ela se encontra afastada da base da sapata (Figura 2.10). No Brasil, a associação em que a sapata se apoia diretamente sobre a estaca foi designada como “Estaca T” e a que a sapata se encontra afastada da cabeça da estaca, como “Estapata”.

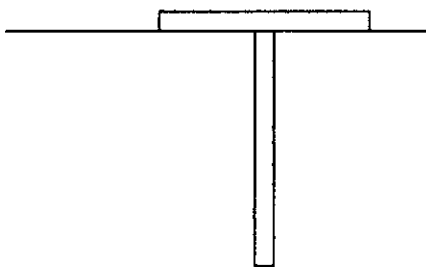


Figura 2.9- Estaca T

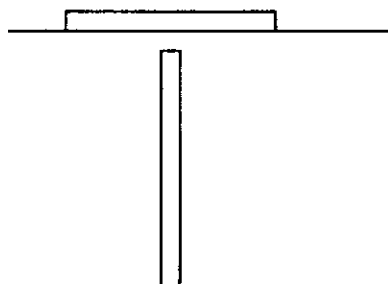


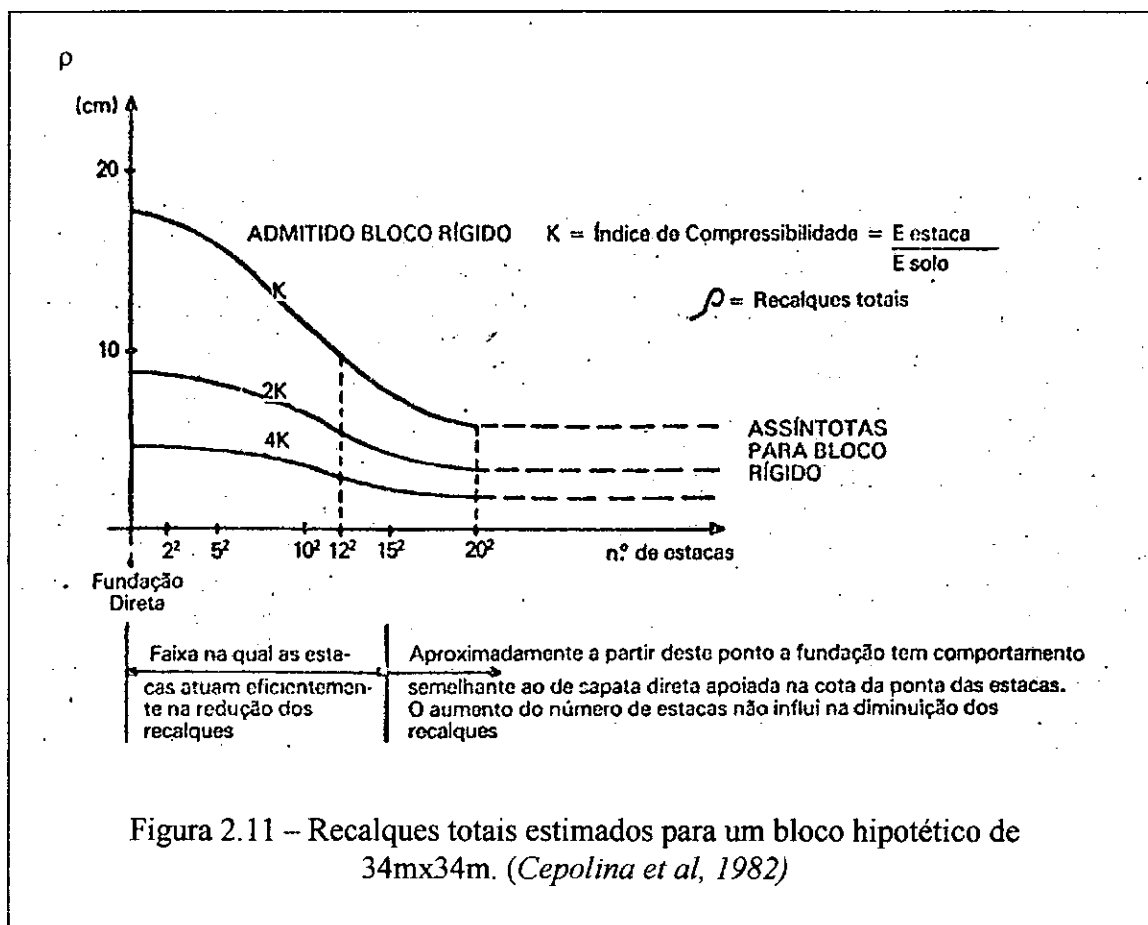
Figura 2.10- Estapata

2.3.1 Metodologia de pré dimensionamento de Cepollina et al. (1982)

Cepollina et al. (1982) propõem uma metodologia para pré dimensionamento de uma fundação direta, com inserção de elementos redutores de recalques (estacas), a fim de garantir o comportamento carga x recalque do conjunto, e não comprometer a estrutura. A metodologia, bastante simples, não aprecia o efeito de interação solo-

estrutura e, portanto, deve ser usada com bastante cautela e somente para cálculos estimativos.

Os autores lembram do problema de efeito de grupo e seu comportamento, quando o número de estacas de um determinado bloco se torna elevado, diminuindo gradualmente o efeito de redução dos recalques. Entretanto, o número de estacas necessárias para a redução dos recalques neste novo tipo de projeto é reduzido, levando o problema do grupo de estacas para um segundo plano. A Figura 2.11 indica este comportamento para o estudo de um caso hipotético.



O projeto se desenvolve a partir da definição das curvas carga x recalque da sapata e da estaca, que podem ser calculadas ou obtidas preferencialmente em uma

prova de carga local. No caso de uma prova de carga em placa de dimensões reduzidas, o efeito da dimensão da sapata pode ser ajustado com ajuda da Teoria da Elasticidade.

As Figuras 2.12 e 2.13 mostram as curvas carga x recalque, estimadas para um exemplo de pré-dimensionamento. As curvas são admitidas em um regime elástico linear (Figura 2.13) na estimativa dos recalques.

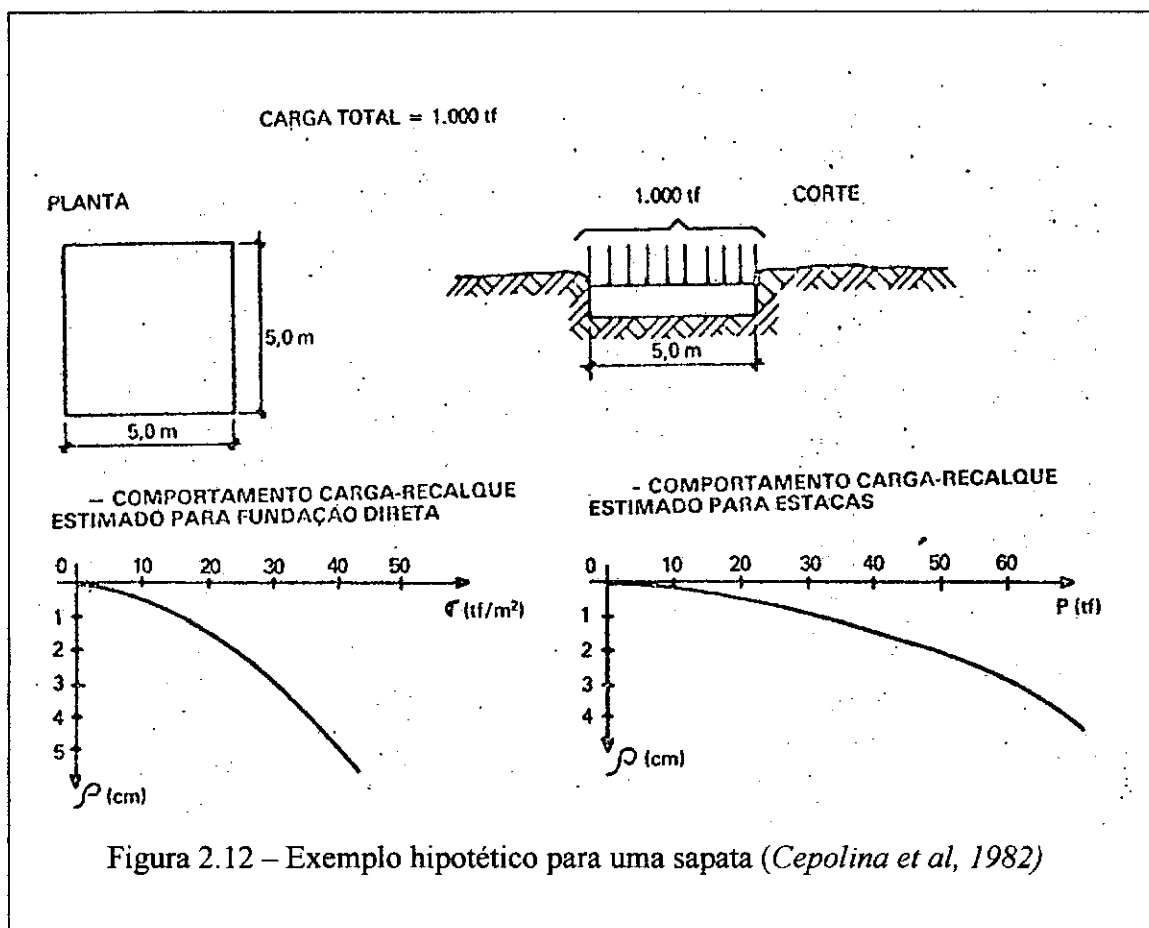
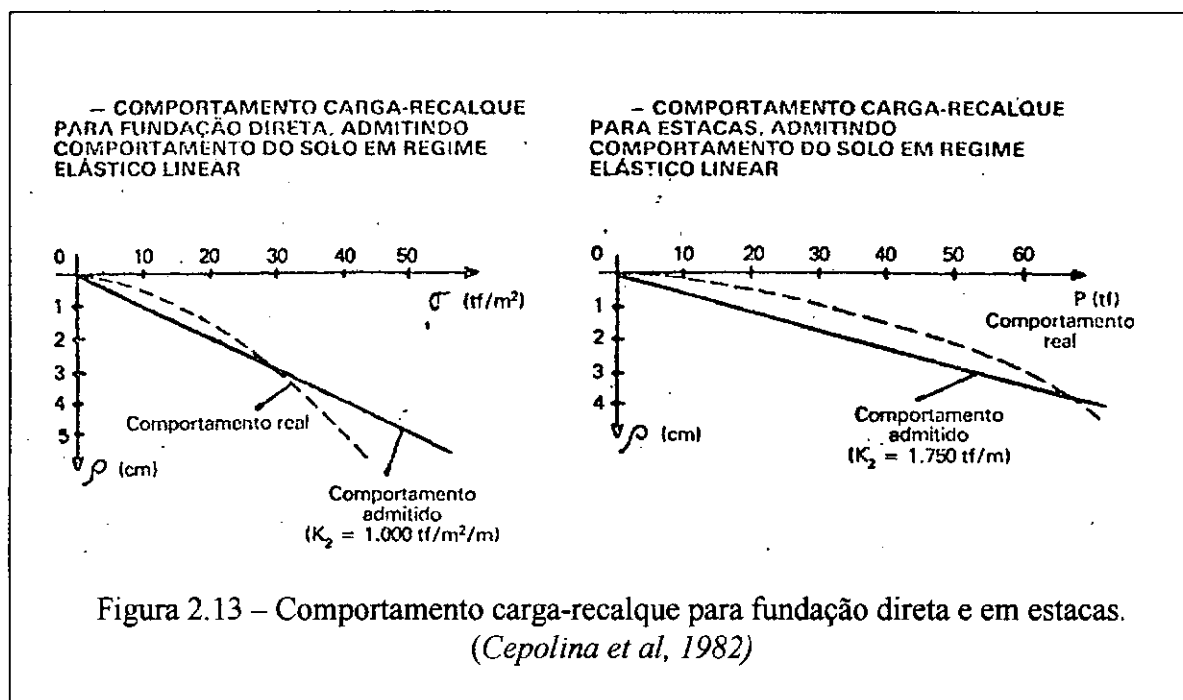


Figura 2.12 – Exemplo hipotético para uma sapata (Cepolina et al, 1982)

A partir da estimativa das tensões a serem aplicadas por uma sapata de dimensões pré-estipuladas, verifica-se na curva de carga x recalque da sapata quais seriam os recalques obtidos e sua conseqüente viabilidade. Caso os recalques calculados ultrapassem os aceitáveis, entra-se na curva de carga x recalque da estaca, para se obter a carga suportada pela mesma correspondente ao recalque requerido em projeto. De posse deste valor, é possível se obter o número de estacas necessárias ao combate dos recalques excessivos, através da diferença entre a carga total aplicada e

àquela capaz de ser suportada pela sapata, para o máximo recalque aceitável. Um exemplo numérico pode ser encontrado no trabalho dos autores.



CAPÍTULO 3

ESTUDO DO COMPORTAMENTO ELÁSTICO-LINEAR DA ESTAPATA

3.1 INTRODUÇÃO

Ao falarmos em associações sapata-estaca, estamos nos referindo à Estapata e à EstacaT.

A diretriz do estudo se constitui em analisar o recalque do conjunto, quando submetido a esforços verticais de trabalho e, assim, procurar entender quais os fatores que influenciam o comportamento carga-recalque. O estudo aqui elaborado parte da premissa de que o solo se comporte como um material elástico-linear, podendo ser analisado como um meio homogêneo, com módulo de elasticidade constante, ou não homogêneo, com módulo crescente com a profundidade. O conjunto estaca-radier é representado por um modelo axissimétrico, consistindo de um mesmo material, o concreto, cujo módulo de elasticidade é aqui fixado em $2,1 \times 10^7$ kPa.

As análises elaboradas para o solo heterogêneo incluem tanto a variação linear do módulo de elasticidade do solo com a profundidade, como a presença de dois estratos distintos, porém com módulos de elasticidade constantes.

O recalque tomado como referência é aquele obtido no centro da sapata.

3.1.1 Geometria do Problema

Tal como antes descrito, a geometria do problema consiste em uma sapata apoiada em uma estaca, ambas de concreto, sobre a qual atua uma pressão uniformemente distribuída. A fronteira rígida é reproduzida, de forma a torná-la indeslocável no sentido dos eixos x e y e a indeslocabilidade do eixo de simetria é

reproduzida pela total restrição ao deslocamento, no sentido do eixo x e pela total liberdade de deslocamento, no sentido do eixo y. A Figura abaixo (Figura 3.1) procura reproduzir as condições de contorno e a geometria empregada no estudo paramétrico.

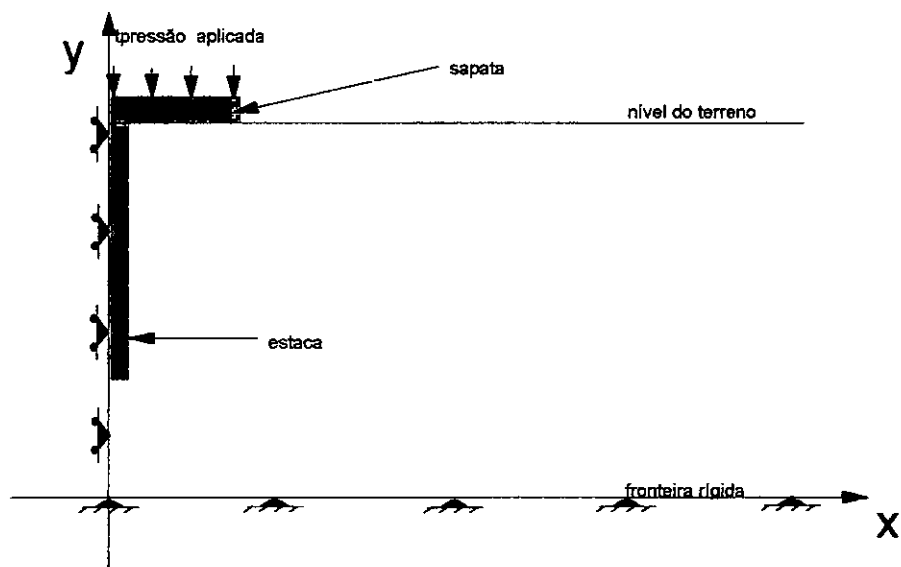


Figura 3.1-Geometria básica empregada no estudo

O comprimento da estaca, a largura da sapata, a taxa de crescimento do módulo de elasticidade com a profundidade e a proximidade da fronteira rígida, junto à ponta da estaca, foram variáveis estudadas.

3.2 ASPECTOS TEÓRICOS

Para o cálculo de recalques de uma fundação em sapata uma equação baseada na Teoria da Elasticidade pode ser usada:

$$w = q B \frac{(1 - \mu^2) I}{E_s} \quad (3.1)$$

onde w = recalque

q = tensão de contato média

B = diâmetro da sapata

μ = coeficiente de Poisson

E_s = módulo de elasticidade do solo

I = fator de influência obtido na Tabela 3.1

Tipo	Flexível			Rígida
	Centrada	Borda	Média	
Circular	1.00	0.64	0.85	0.88(*)
Quadrada	1.12	0.56	0.95	0.82
Retangular				
L/B=1.5	1.36	0.68	1.2	1.06
2	1.53	0.77	1.31	1.2
5	2.1	1.05	1.83	1.7
10	2.52	1.26	2.25	2.1
100	3.38	1.69	2.96	3.4

Tabela 3.1-Fatores de influência para sapatas – (Bowles, 1969)

(*) Outros utilizam o valor de $0,79 = \pi/4$, para esta influência.

O cálculo de recalque de uma estaca isolada pode ser feito também a partir de solução da Teoria da Elasticidade desenvolvida, por exemplo, por Poulos e Davis (1980) ou por Randolph e Wroth (1983).

3.3 ESTUDO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO CARGA - RECALQUE

Apresenta-se, a seguir, com base no Método dos Elementos Finitos, o estudo dos fatores que influenciam o comportamento carga x recalque das associações sapata-estaca.

3.3.1 Dimensão da sapata/diâmetro da estaca

A princípio utilizamos as condições de contorno mostradas na Figura 3.1; entretanto, nesta fase de estudos, procurou-se manter uma distância padrão de 10cm entre a cabeça da estaca e a base do radier. O material deste elemento, situado entre a sapata e a estaca, foi o mesmo adotado para o solo (a seguir, será visto, no item 3.4, a adoção de um material mais compressível). A partir de então, houve modificação das dimensões da sapata enquanto foram mantidos os demais elementos de geometria sempre constantes, procurando desta forma verificar a influência da relação entre as dimensões da sapata e estaca no valor do recalque.

O módulo de elasticidade do solo foi mantido constante ao longo da profundidade (portanto, sua taxa de crescimento foi considerada nula); entretanto, houve variação do módulo de elasticidade do solo, para cada conjunto de variação. Assim, objetivou-se a verificação da possibilidade de uso da fórmula 3.1 de recalques de uma sapata isolada.

Através dos resultados obtidos, reproduzimos o gráfico apresentado a seguir (Figura 3.2).

De acordo com a Figura 3.2 obtida, podemos verificar a razão direta entre a relação de recalque do conjunto e a dimensão da sapata, pela relação de tensão aplicada por módulo de elasticidade do solo, ou seja,

$$w = B \frac{q}{E_s} \eta \quad (3.2)$$

onde η seria uma constante, que envolveria a influência do coeficiente de Poisson do solo (adotado em todo o trabalho com o valor de 0,49) e influência da variação das dimensões da sapata nos recalques. Para um dado valor de coeficiente de Poisson, a inclinação do gráfico em questão está diretamente ligada à influência da variação das dimensões da sapata, pesquisada no valor dos recalques da Estapata. Nas inclinações das retas poderiam, portanto, ser reproduzidas em um segundo gráfico, (Figura 3.3) de forma a relacioná-las diretamente com a relação de B / b .

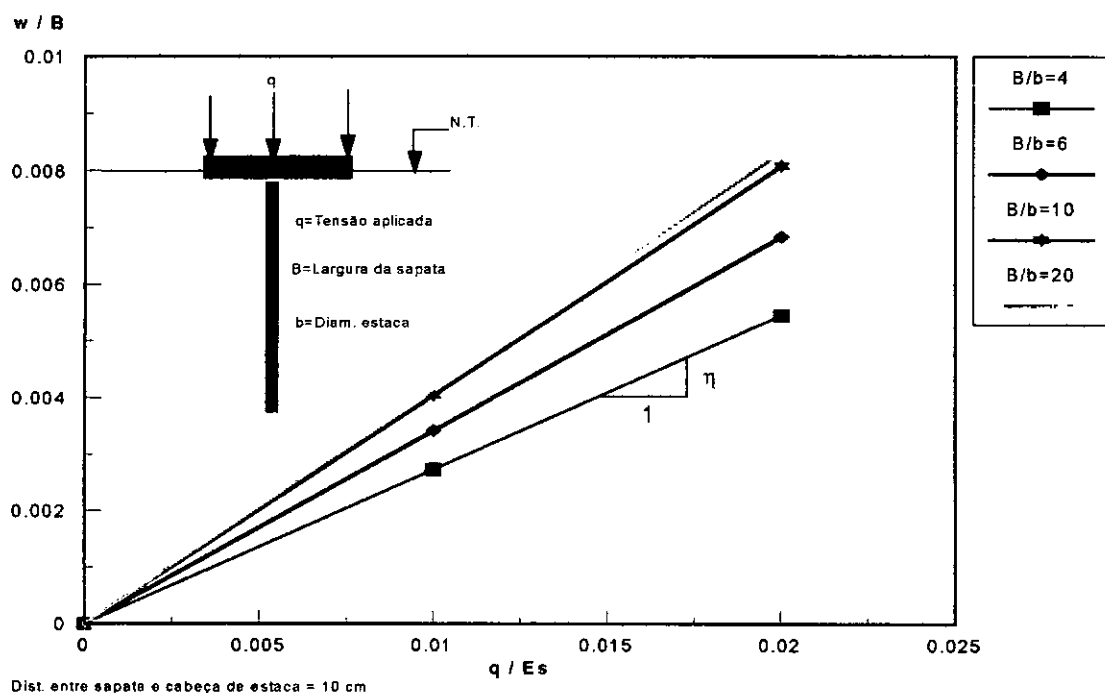


Figura 3.2 -- Curva p/E_s x w/B para diferentes relações de B/b

Assim, pode-se agora mostrar um segundo gráfico que, a partir da curva descrita por ele, chega-se ao valor de uma constante (chamada no gráfico de influência) capaz de traduzir a expressão dos recalques, em função da relação de dimensões:

$$w = B (q / E^*) \alpha \quad (3.3)$$

Desta forma, então, para se obter o valor de α na equação (3.3) teríamos que fazer $\alpha = \eta / (1 - v^2)$.

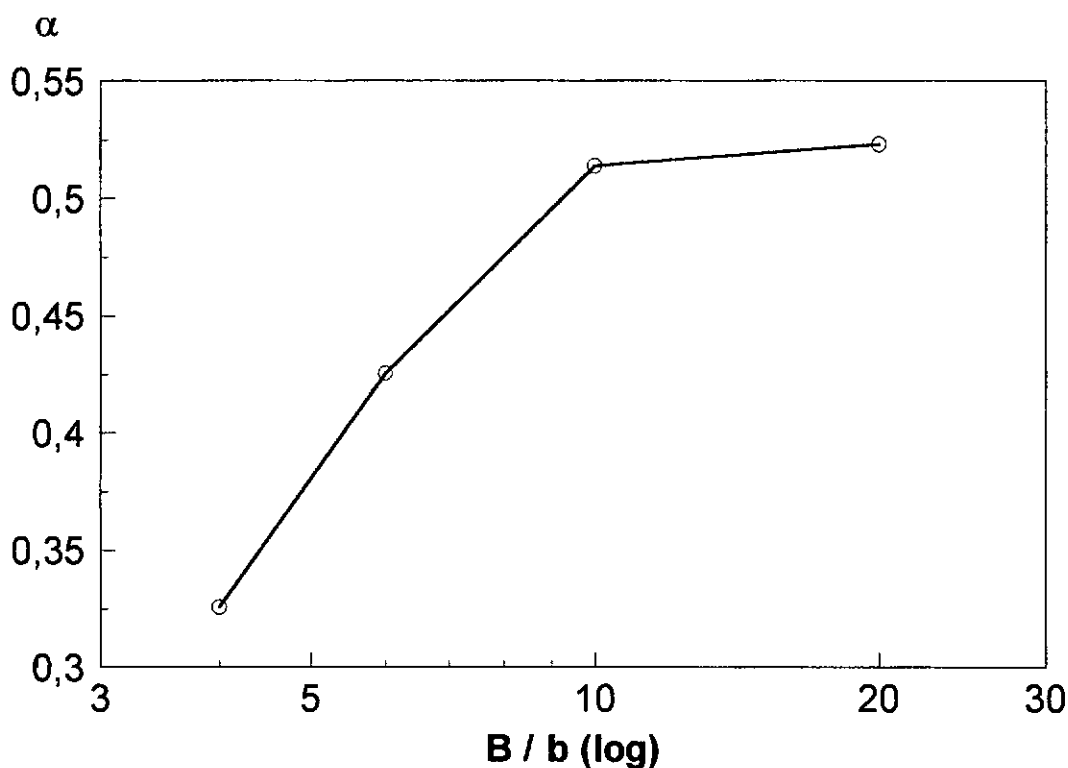


Figura 3.3- Gráfico do fator de influências das dimensões

O interessante de se mostrar no gráfico obtido é como se desenvolve a variação de α com a variação da relação de dimensões (B/b). Podemos observar que a curva obtida no gráfico, traduz-se de forma quase que retilínea, enquanto não atinge o patamar de relação de B/b = 10. Isto talvez se dê pela presença, a partir desta relação, da perturbação no comportamento pelo bulbo de pressões da sapata. É para esta relação

que o bulbo de pressões da sapata atinge abaixo da ponta da estaca (fixado neste estudo com o comprimento de aproximadamente 18 metros), aumentando os recalques obtidos e diminuindo a influência da presença da estaca no comportamento do conjunto.

Os arquivos utilizados, tal como suas dimensões e fatores referentes ao solo, podem ser observados no apêndice A.1 (números de 1 a 12).

3.3.2 Afastamento entre o topo da estaca e a base da sapata

Parte-se do mesmo princípio antes utilizado com a intenção de avaliar o comportamento do conjunto estaca-sapata, no que se refere à presença de um afastamento entre o topo da estaca e a base do radier. Usou-se, para material de preenchimento deste espaço, um material de módulo de elasticidade idêntico ao do solo, ficando clara a diferença entre o esquema proposto e o esquema da Estapata proposta por Eduardo C. do Val.

Para este estudo mantivemos todas as dimensões envolvidas e aumentamos o afastamento em relações, mostradas na legenda do gráfico (Figura 3.4). Chegou-se da mesma maneira, a um gráfico de correlações entre q / E_{solo} e w / B .

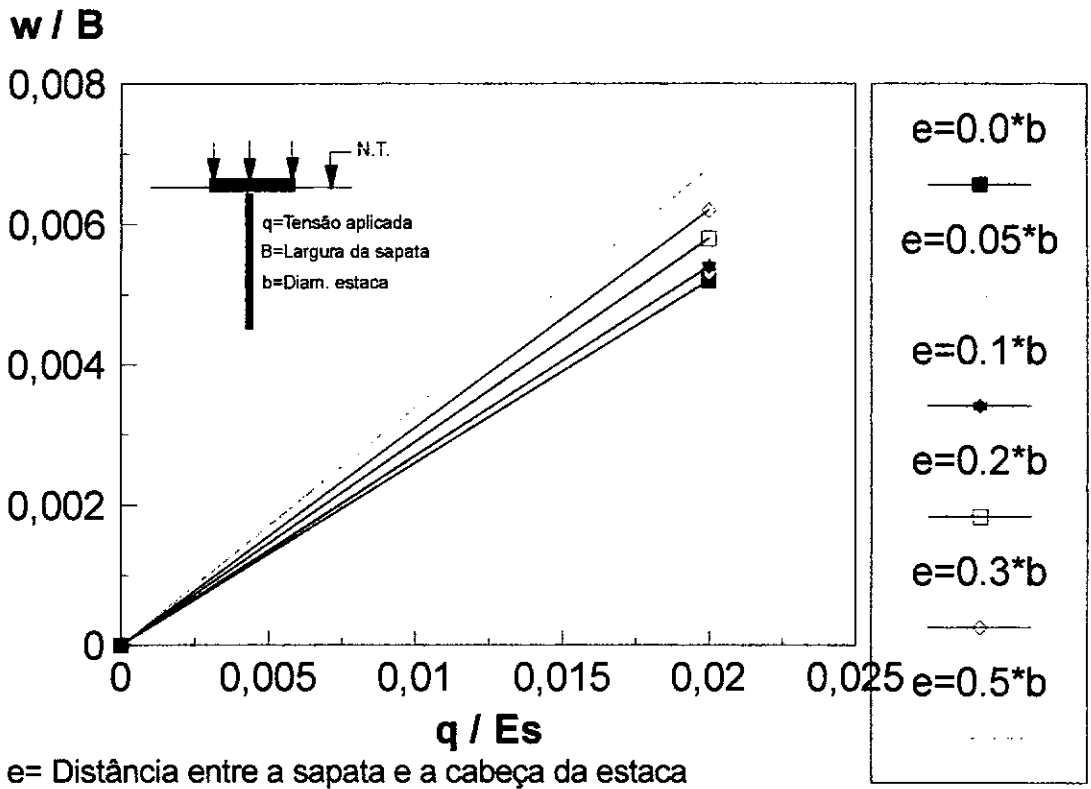


Figura 3.4 - Verificação da linearidade entre $q/E_s \times w/B$

Procurando-se obter os coeficientes angulares, anteriormente mostrados para a confecção do gráfico de influências do afastamento e conseqüente interpretação dos resultados, chega-se ao gráfico seguinte, cuja reta apresentada foi gerada mediante uma interpolação de pontos (Figura 3.5).

Podemos assim chegar a uma nova formulação, semelhante à anterior, e que leve em consideração o afastamento entre a sapata e o topo da estaca. Esta seria da forma:

$$w = B (q / E^*) \beta , \tag{3.4}$$

onde as variáveis são iguais as da formulação (3.3) e β é a influência obtida no gráfico.

De posse do mesmo, podemos verificar a direta e linear (para fins de interpretação de resultados) interdependência entre o afastamento proposto e os recalques do conjunto.

Podemos verificar os arquivos usados e as dimensões utilizadas no apêndice 1 (arquivos do número 20 ao número 25).

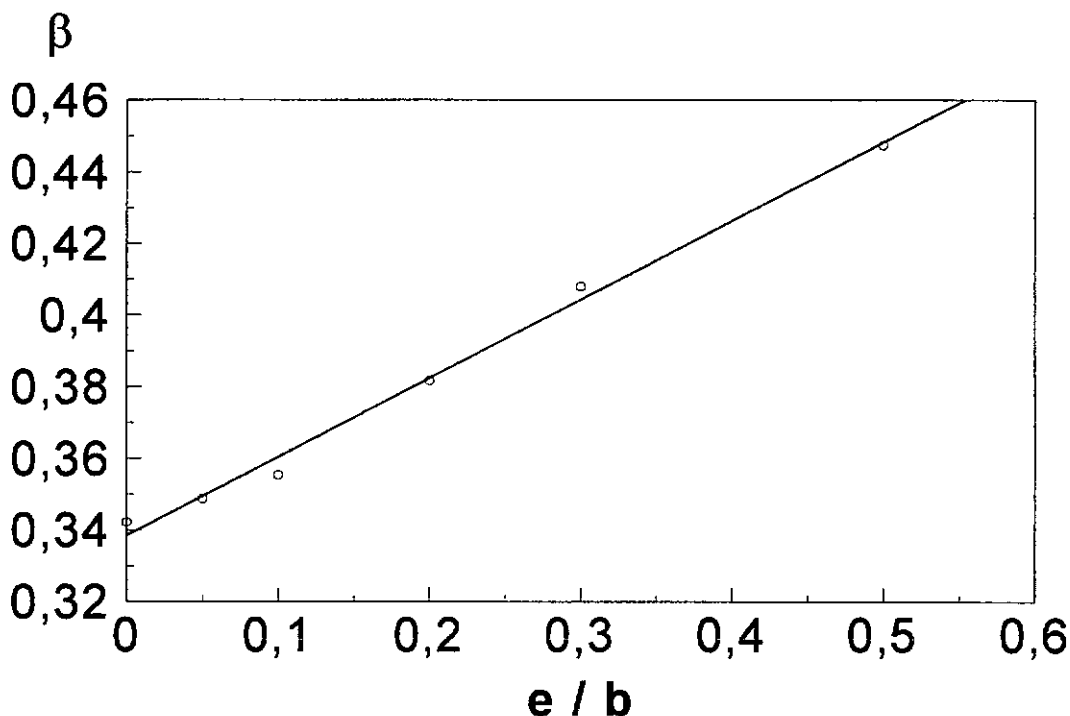


Figura 3.5 - Influência do afastamento entre a cabeça da estaca e a base da sapata

3.3.3 Comprimento da estaca

Neste caso foi estudada a influência do comprimento da estaca, nos recalques do conjunto acima proposto. Como antes, mantivemos inalteradas todas as variáveis que pudessem influir no comportamento do radier estaqueado, quando aplicada a carga sobre o topo da sapata. Usamos a relação de dimensões entre a sapata e a estaca de 4, além de manter a distância entre a cabeça da estaca e a base da sapata de 10 cm. O comprimento da estaca foi modificado de 4m até os 27m.

Foi gerado um gráfico (Figura 3.6) para análise da influência do comprimento da estaca nos recalques.

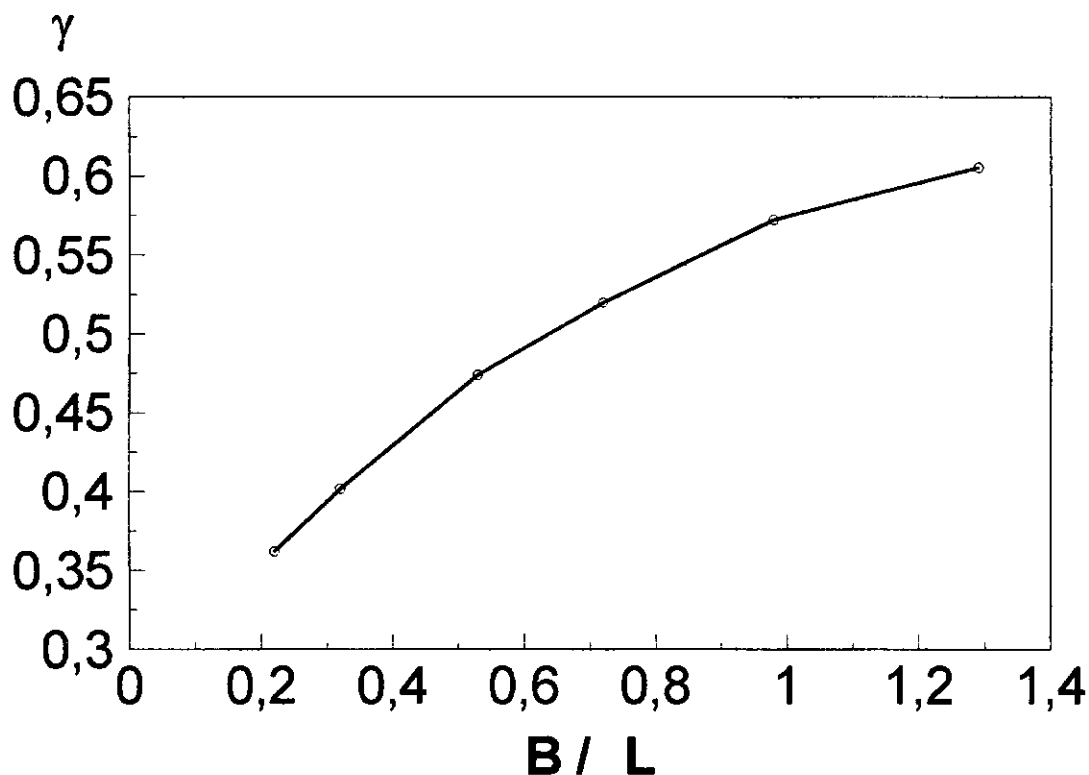


Figura 3.6 - Influência do comprimento da estaca

Esta influência, tal como as outras obtidas no presente trabalho, pode ser descrita pela fórmula abaixo mostrada (3.5); e semelhante às demais, com exceção da definição do γ , que neste caso vem a ser a influência do comprimento da estaca.

$$w = B (q / E^*) \gamma \quad (3.5)$$

Pode-se notar nesta curva, a ligeira queda da influência do comprimento da estaca à medida que a relação B/L aumenta, ou seja, a partir do momento em que a estaca se torna curta em relação à sapata, a sua taxa de influência decai conforme se nota pela derivada da curva. Espera-se que se a relação de B/b utilizada fosse superior àquela empregada, o grau de curvatura observada seria mais acentuado, uma vez que o

bulbo de pressões referente ao radier afetaria mais o seu comportamento (sobretudo em estacas curtas em relação às dimensões da sapata utilizada).

Espera-se, também, que a partir do momento em que o bulbo de pressões da sapata pare de influir no comprimento da estaca ($2B/L \leq 1$), o comportamento da curva se aproxime de uma reta, mostrando uma interdependência linear conforme podemos notar no gráfico (Figura 3.6) acima proposto (no trecho de $B/L < 0.5$).

Os arquivos usados nesta análise bem, como o valor das variáveis, podem ser vistos no apêndice A.1 com arquivos entre os números 13 e 19.

3.3.4 Variação linear do módulo de elasticidade com a profundidade

Nesta etapa do estudo, procurou-se analisar o comportamento do conjunto estaca-radier já especificado, no que se refere a heterogeneidade do solo. Aqui procuraremos simular um caso muito encontrado na prática: o de módulo de elasticidade do solo, variando com a profundidade de forma linear. Foram mantidas todas as dimensões do conjunto, procurando-se variar apenas a taxa de crescimento p .

Obtivemos então o gráfico (Figura 3.7), mostrando a influência no comportamento.

Podemos observar, neste caso, que a influência da taxa de crescimento do módulo se traduz de forma semi logarítmica. Assim, poderíamos expressar os recalques em função da taxa, como antes descrito, onde a influência agora seria função deste tipo de heterogeneidade.

$$w = B (q / E^*) \lambda \quad (3.6)$$

Os arquivos se apresentam no apêndice A.1 sob os números 26 a 34.

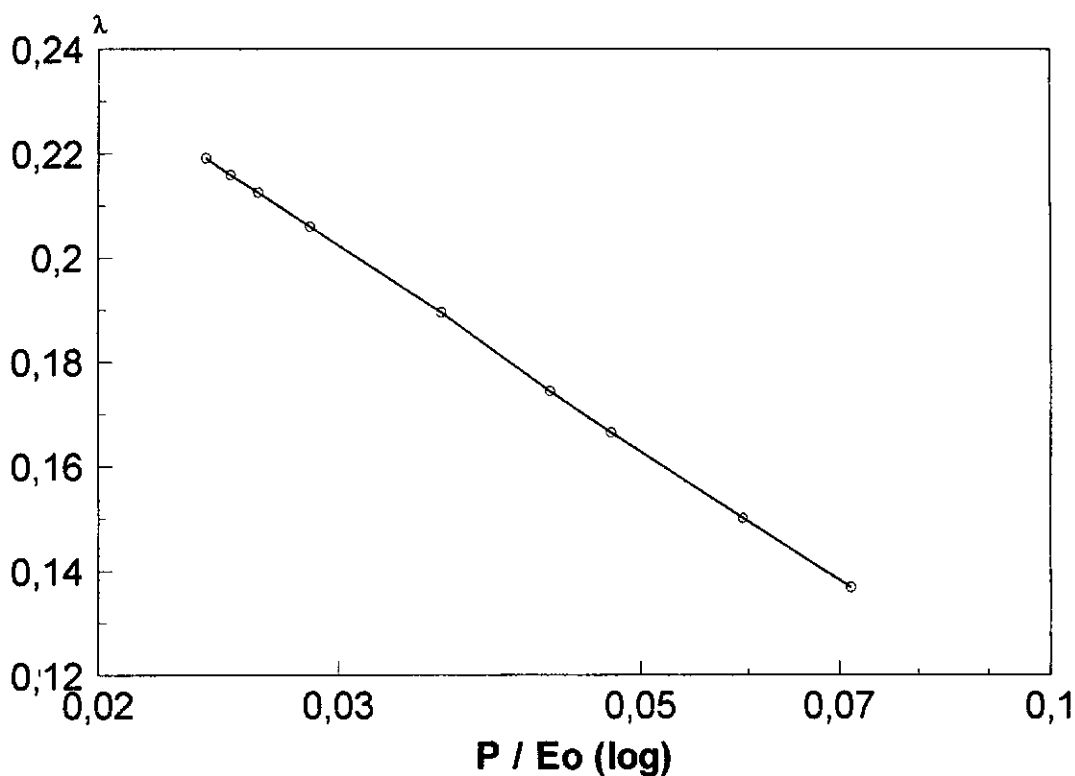


Figura 3.7 - Influência da variação do módulo de elasticidade com a profundidade

3.3.5 Presença da estratificação do solo

(a) Estrato mais rígido próximo à superfície

O estudo aqui realizado deu atenção à possibilidade de ocorrência de estratificação no solo. Neste estudo, procurou-se pesquisar como seriam os recalques provenientes de um estrato mais resistente de solo próximo à superfície. Tal estrato foi pesquisado segundo várias espessuras, designadas por Z , até um valor máximo igual ao comprimento da estaca, e teve a convenção de Z . No eixo das abscissas do gráfico foi plotada a razão de Z/L , onde L é o comprimento da estaca. O estrato mais resistente possui, neste caso, um módulo de elasticidade igual a duas vezes o módulo do solo padrão (adotado com o valor de 50000 kPa).

Em todos os casos de espessuras diferentes de estrato, a distância computada entre a cabeça da estaca e o radier permaneceu fixa e de valor igual a 0,10m. O

comprimento da estaca, tal qual os outros valores que pudessem influir no comportamento do conjunto, foram mantidos constantes.

Apresentamos, a seguir, o gráfico (Figura 3.8) obtido mediante a este estudo.

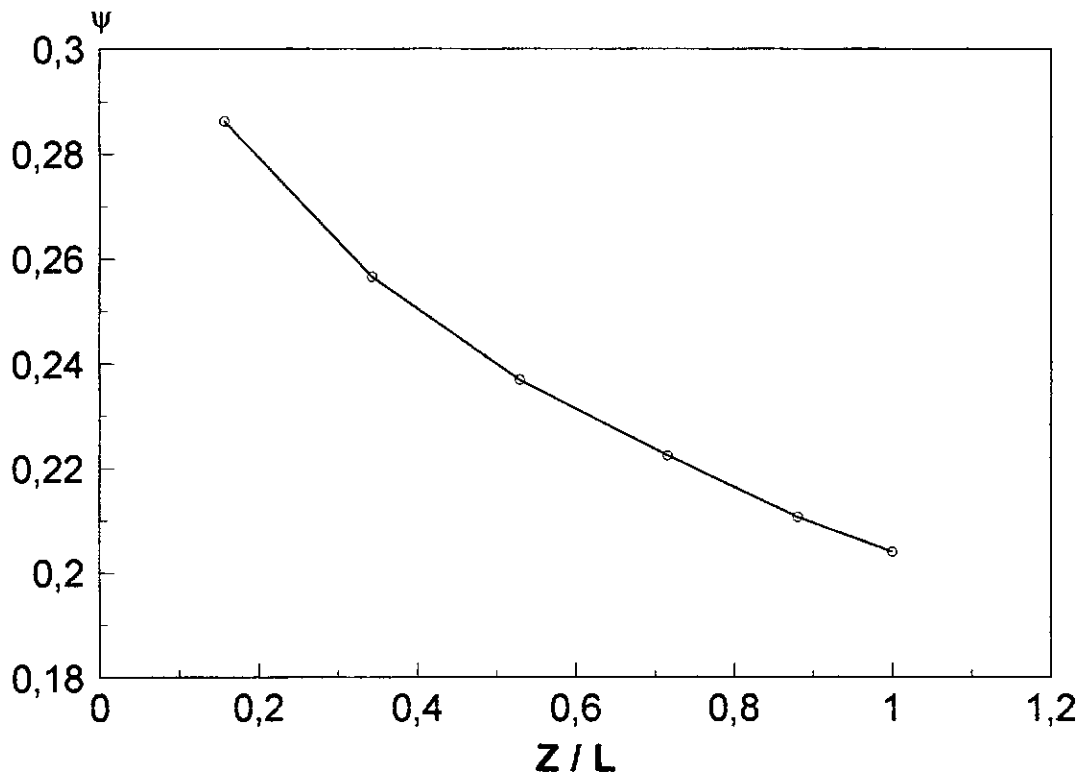


Figura 3.8- Influência da estratificação, com a presença de solo mais resistente próximo à superfície

Assim chegamos a formulação:

$$w = B (q / E^*) \psi \quad (3.7)$$

Os nomes dos arquivos, assim como suas características geométricas e de solo, podem ser vistos no apêndice A.1 enumerados de 35 a 40.

(b) -Estrato menos rígido próximo à superfície

Esta análise se mostra semelhante a anterior, sendo que agora a camada possuidora de módulo maior (100000 kPa) se apresenta próxima a fronteira rígida. O gráfico obtido da análise se apresenta abaixo. (Figura 3.9)

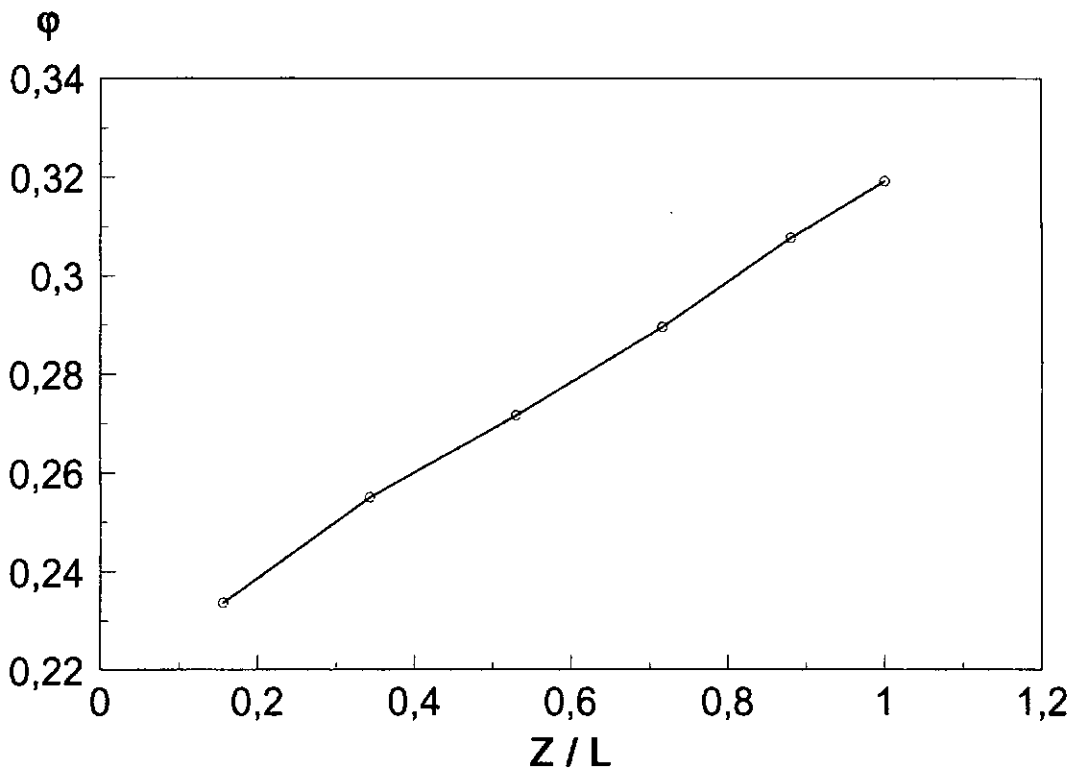


Figura3.9- Influência da estratificação com a presença de estrato mais resistente próximo à fronteira rígida

A formulação para obtenção dos recalques seria:

$$w = B (q / E^*) \varphi \quad (3.8)$$

Podemos notar, por este gráfico, a relação direta e linear entre a influência apresentada e os recalques.

3.4 PREVISÃO DO COMPORTAMENTO ELÁSTICO-LINEAR

Neste item é apresentada uma metodologia para a previsão do comportamento da Estapata. Para tal, foram processados no PROGEO2 128 malhas de elementos finitos, com intuito de abordar seu comportamento quando submetido ao carregamento de projeto, procurando variar o comprimento da estaca e o afastamento entre a base da

sapata e o topo da estaca. Em razão do reforço do solo promovido pela presença do elemento vertical de fundação, a expectativa de níveis de recalques menores ao de uma sapata pôde ser confirmada e observada, quando acompanhamos o desenvolvimento do grau de influência para uma mesma relação de L/B , ou seja, quanto mais afastada a sapata da cabeça da estaca, menor a influência no comportamento carga x recalque da Estapata.

Para uma correta interpretação dos resultados, devemos entender que, ao se obter um recalque igual ou superior à distância entre a base da sapata e o topo da estaca, devemos utilizar, a partir daí, os gráficos correspondentes ao comportamento elástico-linear da Estaca T. Desta forma, o comportamento elástico-linear da Estapata pode ser subdividida em duas etapas de previsão: 1) quando o nível de recalques não ultrapassa o afastamento entre a sapata e a estaca, devendo-se utilizar os gráficos apresentados neste capítulo, e 2) quando o nível de recalques ultrapassa o afastamento, a sapata encosta no topo da estaca, caracterizando um comportamento similar ao da Estaca T, devendo ser analisado como tal. (ver Figura 3.10)

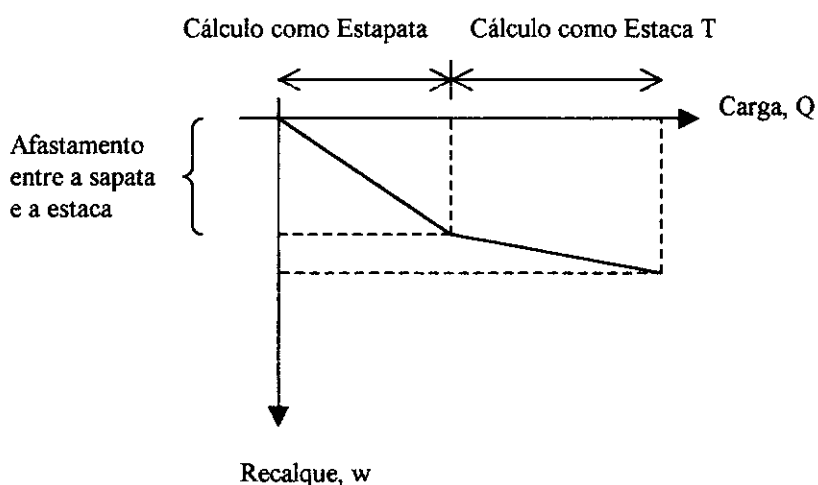


Figura 3.10 – Comportamento da Estapata em presença do carregamento

3.5 ESTUDO PARAMÉTRICO E ÁBACOS

Durante o estudo paramétrico referente ao comportamento elástico-linear da Estapata, foram desenvolvidos ábacos, de forma a se obter valores para o fator de influência em função de algumas variáveis de projeto, podendo interpolar valores intermediários. A fórmula para a previsão do recalque é:

$$w = B \frac{q}{E^*} I \quad (3.9)$$

Desta forma, o desenvolvimento do projeto, para o nível de carregamento admissível, reside na utilização dos ábacos apresentados nas Figuras de 3.11 a 3.14, onde é possível através da escolha da relação de dimensões B/b, escolher aquele a ser utilizado, valendo-se do artifício da interpolação para razões de B/b intermediárias. Após a escolha do ábaco, tem-se duas formas de se trabalhar:

- 1- entra-se na curva correspondente ao afastamento de projeto estimado e a razão de L/B para a estimativa do nível de recalques, ou
- 2- a partir do nível de recalques máximo admissível pela estrutura, retira-se do ábaco o afastamento adequado entre a cabeça da estaca e a base da sapata.

Deve-se observar que o fator de influência que corresponde a L/B = 0 (ou seja, sem estaca) é 0,67, enquanto o valor teórico seria de 0,79. A diferença, da ordem de 18%, deve-se às aproximações próprias de um método discreto, como o Método de Elementos Finitos, o qual possui graus de liberdade finitos quando comparado à análise pela Teoria da Elasticidade.

Quando o nível de recalques chegar ao valor do afastamento entre a base da sapata e o topo da estaca, o comportamento passará a ser igual a de uma Estaca T, e portanto poderemos utilizar os ábacos apresentados no capítulo 4.

Fator de Influência I

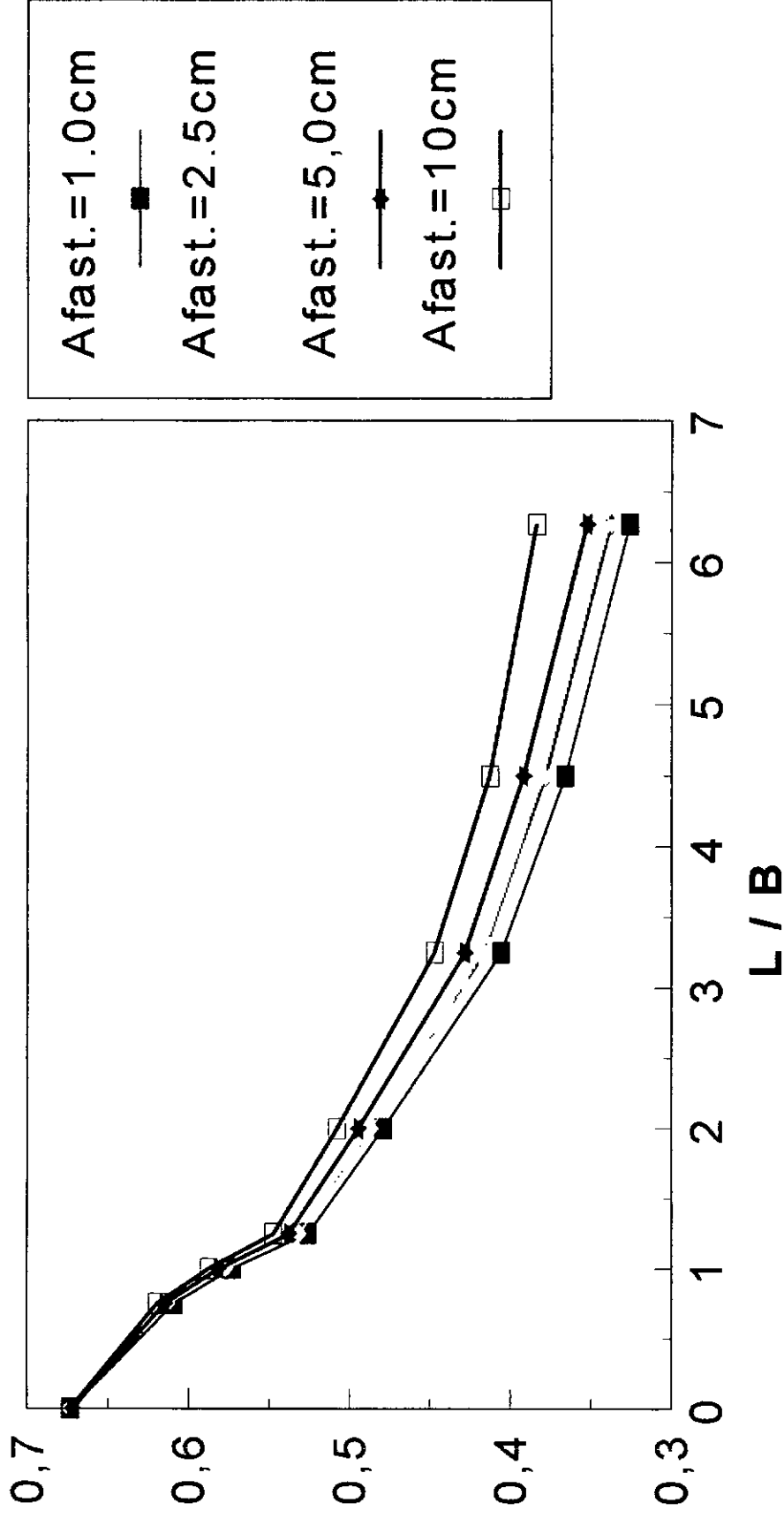


Figura 3.11 -Ábaco de influências da Estapata para B/b = 4

Fator de Influência I

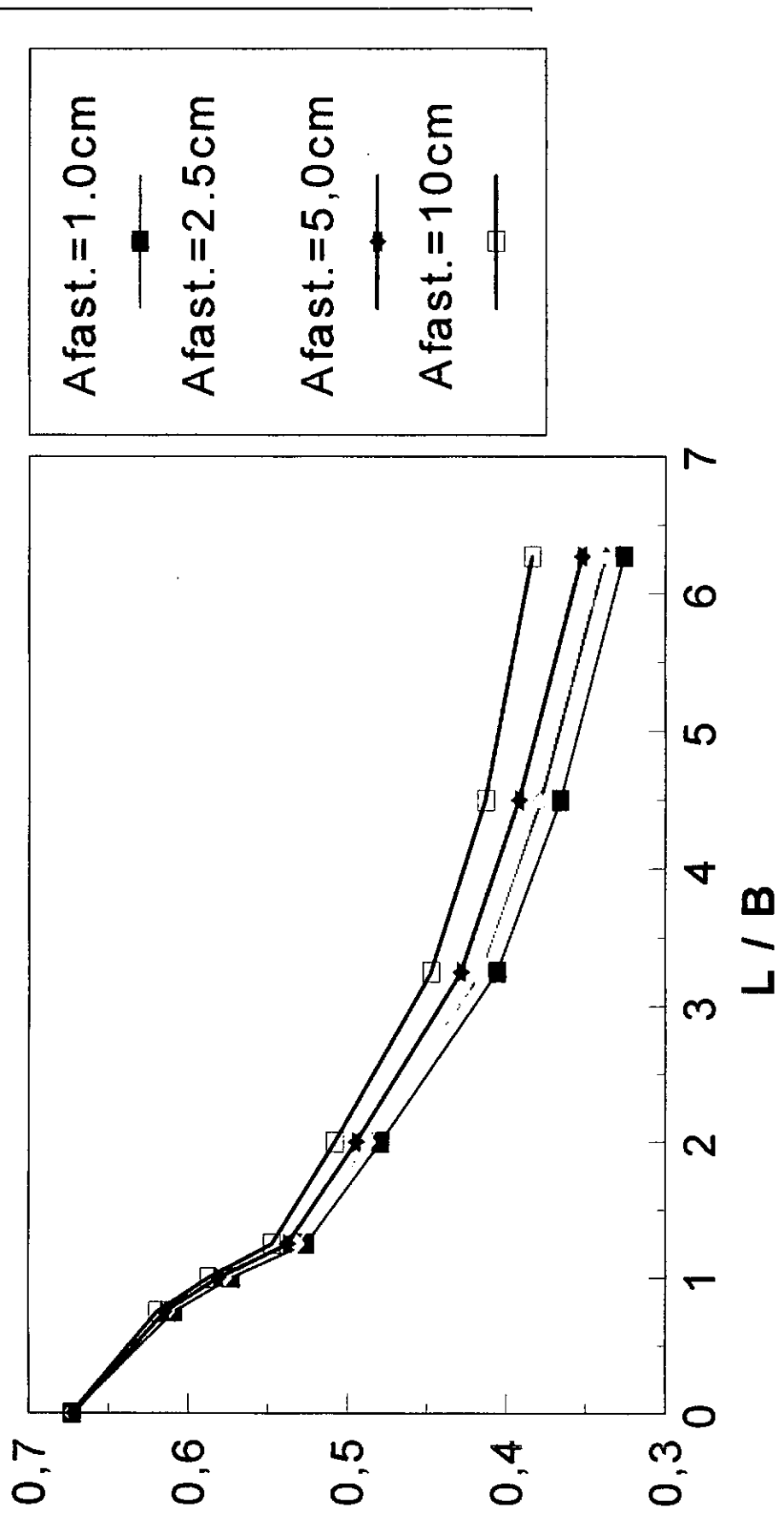


Figura 3.12- Ábaco de influências da Estapata para B/b = 6

Fator de Influência I

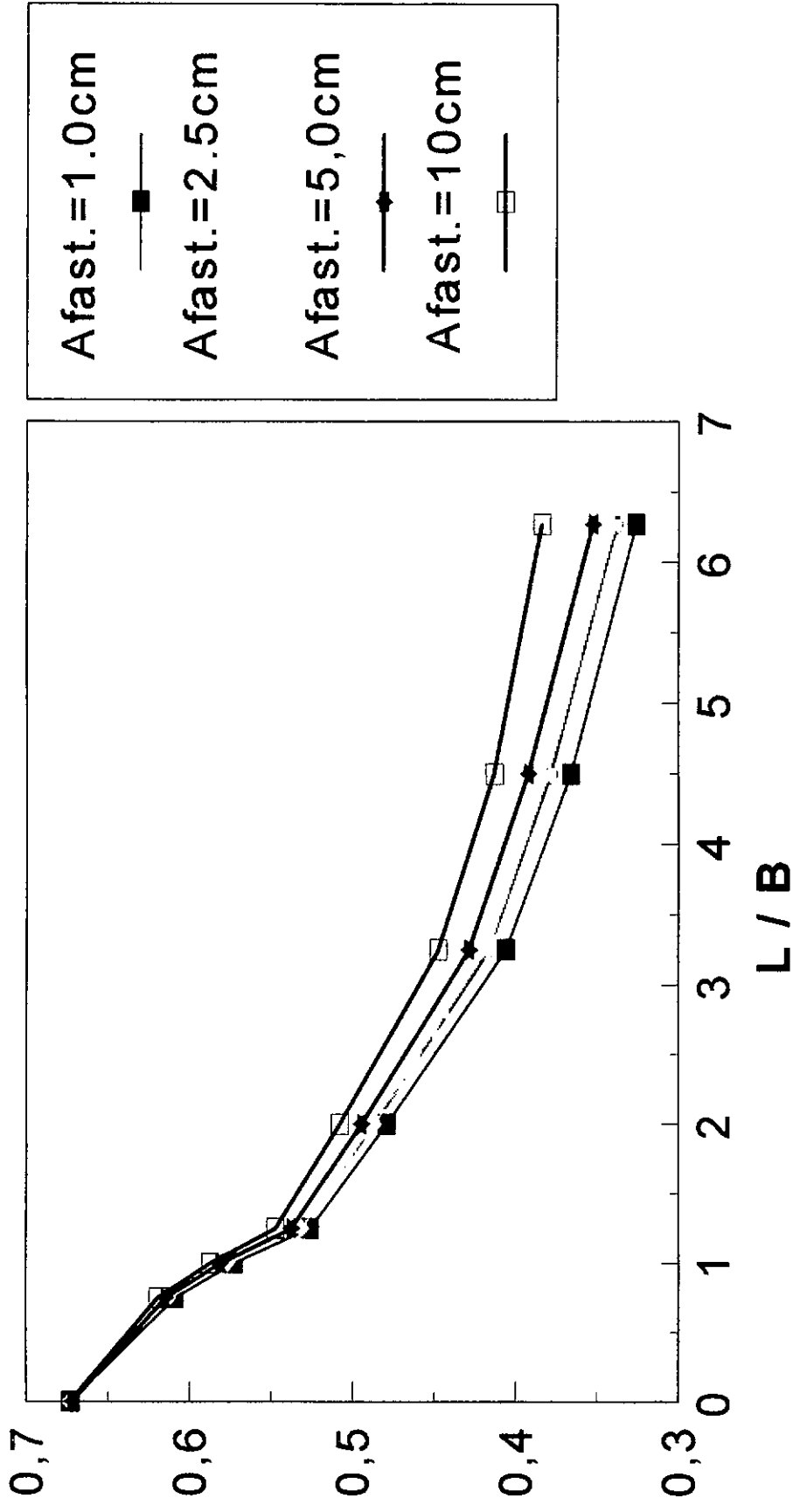


Figura 3.13 – Ábaco de influências para $B/b = 10$

CAPÍTULO 4

ESTUDO LINEAR E NÃO LINEAR DO COMPORTAMENTO DA ESTACA T

4.1 PREVISÃO DO COMPORTAMENTO ELÁSTICO LINEAR

Seguiu-se a metodologia para o estudo antes realizado para a Estapata (Cap.3), agora para a Estaca T, no que se refere ao seu comportamento carga-recalque. Desta forma, objetiva-se determinar quais as dimensões necessárias, tanto da sapata empregada quanto da estaca, em função da expectativa de recalques admitidos para a estrutura.

Procurou-se, a partir da análise dos comportamentos acima descritos, desenvolver uma formulação única que pudesse representar todos os fatores descritos e, por consequência, se chegar a um estudo completo do comportamento da Estaca T

Face à dificuldade em se determinar quais seriam as parcelas de influência de cada um dos fatores, estudados no capítulo 3 sobre o comportamento do conjunto, procurou-se determinar em um único gráfico, as influências do comprimento da estaca, da relação entre diâmetro da estaca e diâmetro da sapata e a influência da presença de um módulo de elasticidade crescente com a profundidade. Finalmente construiu-se um ábaco, que possibilita a determinação da redução de recalque, devido à proximidade da presença do estrato da camada rígida.

A proposta de metodologia aqui apresentada vem, por intermédio de ábacos, fornecer o comportamento da Estaca T. Assim, a previsão de recalques seria dada pela fórmula

$$w = B \frac{q}{E^*} I \quad (4.1)$$

sendo o fator de influência I aquele correspondente ao ábaco de relações de dimensão de diâmetro da sapata por diâmetro da estaca (B/b). Caso a relação não seja exatamente aquela referida pelos ábacos, sugere-se a interpolação de resultados. Ao se obter o fator de influência a ser usado na fórmula (4.1), deve-se realizar uma redução em função da presença do estrato mais rígido, ou seja, uma redução em função da influência da presença deste estrato no comportamento global do conjunto. A metodologia será melhor apresentada no item 4.3.

4.2 ESTUDO PARAMÉTRICO

Neste capítulo procura-se desenvolver os gráficos necessários para o dimensionamento da Estaca T, como antes já descrito. Procura-se desenvolver ábacos, trazendo informações do comportamento da Estaca T, mediante um fator de influência. Este fator é função da razão comprimento da estaca (L) / dimensão da sapata (B), da razão B/b e da taxa de crescimento do módulo de elasticidade com a profundidade.

Em cada gráfico foi adotada certa relação B/b , indicada na legenda respectiva. Variou-se a seguir, o comprimento da estaca e , conseqüentemente, a relação L/B . A partir de cada malha de elementos finitos gerada, para cada relação B/b e faixa de variação de L/B , procurou-se reproduzir 9 curvas, referentes a diferentes taxas de variação do módulo de elasticidade do solo, de acordo com a legenda apresentada no canto direito de cada ábaco.

Na confecção de todos os ábacos, houve o cuidado de tentar empregar apenas relações adimensionais. Todavia, os valores utilizados na legenda dos gráficos tiveram de ser empregados com dimensão de m^{-1} , por ser a única forma de corretamente caracterizar a taxa de crescimento do módulo de elasticidade com a profundidade e ,

ainda, incluir o módulo de elasticidade correspondente à cota de assentamento da sapata.

A Figura abaixo (Figura 4.1) mostra como é definida a taxa de crescimento do módulo de elasticidade com a profundidade. O valor de z , abaixo descrito, representa a espessura final da camada de solo, E_0 o módulo de elasticidade do solo na cota do nível do terreno e E_f o módulo de elasticidade na cota z .

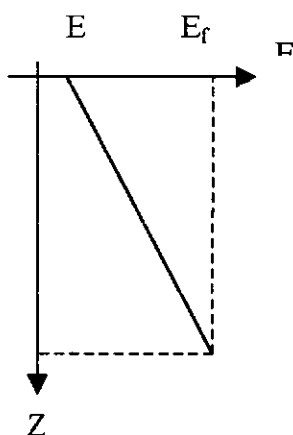


Figura 4.1 - Taxa de crescimento de E com a profundidade

A seguir (Figura 4.2 a Figura 4.5) apresentam-se os gráficos obtidos através dos estudos paramétricos descritos.

FATOR DE INFLUENCIA I

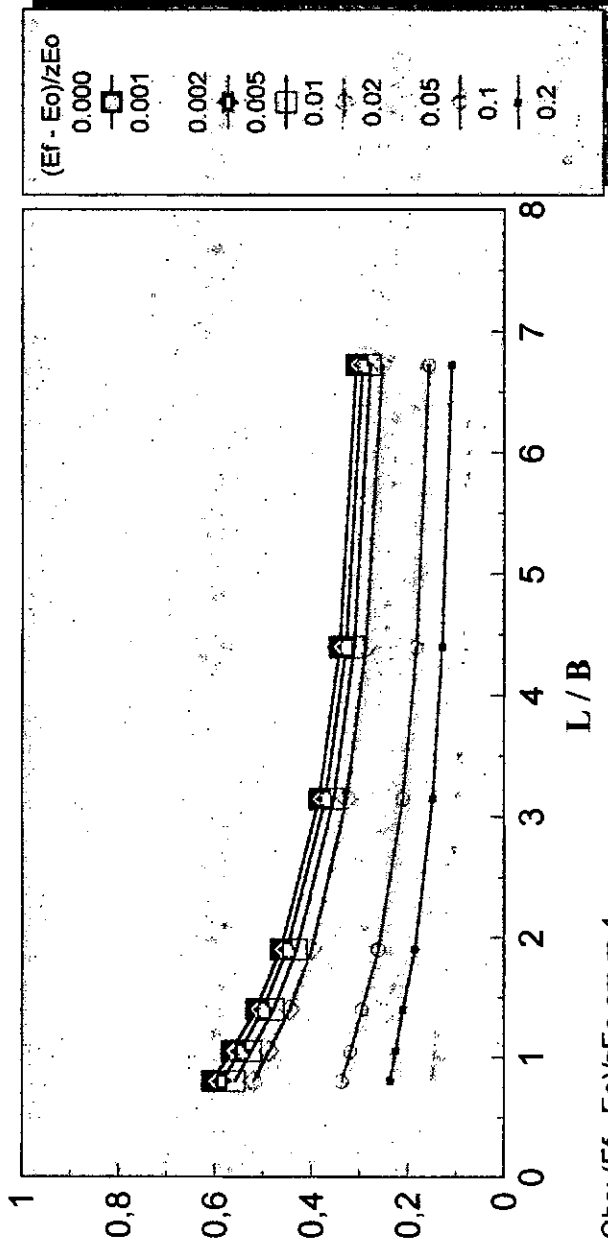


Figura 4.2 – Ábaco de Fator de Influência da Estaca T para $B/b = 4$

FATOR DE INFLUENCIA I

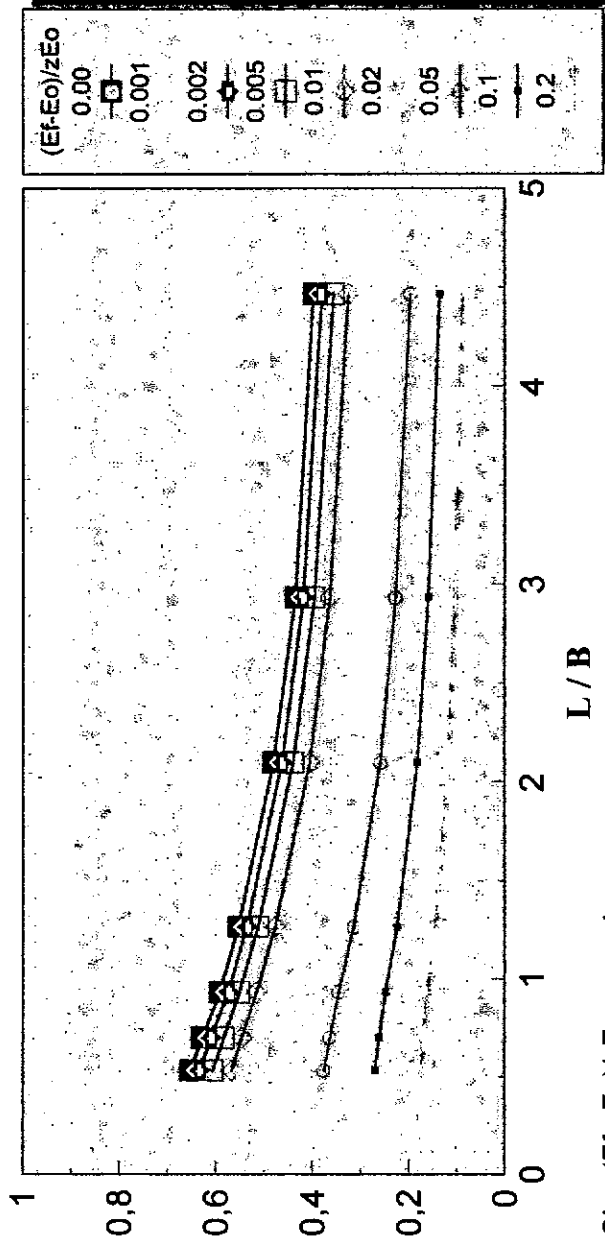
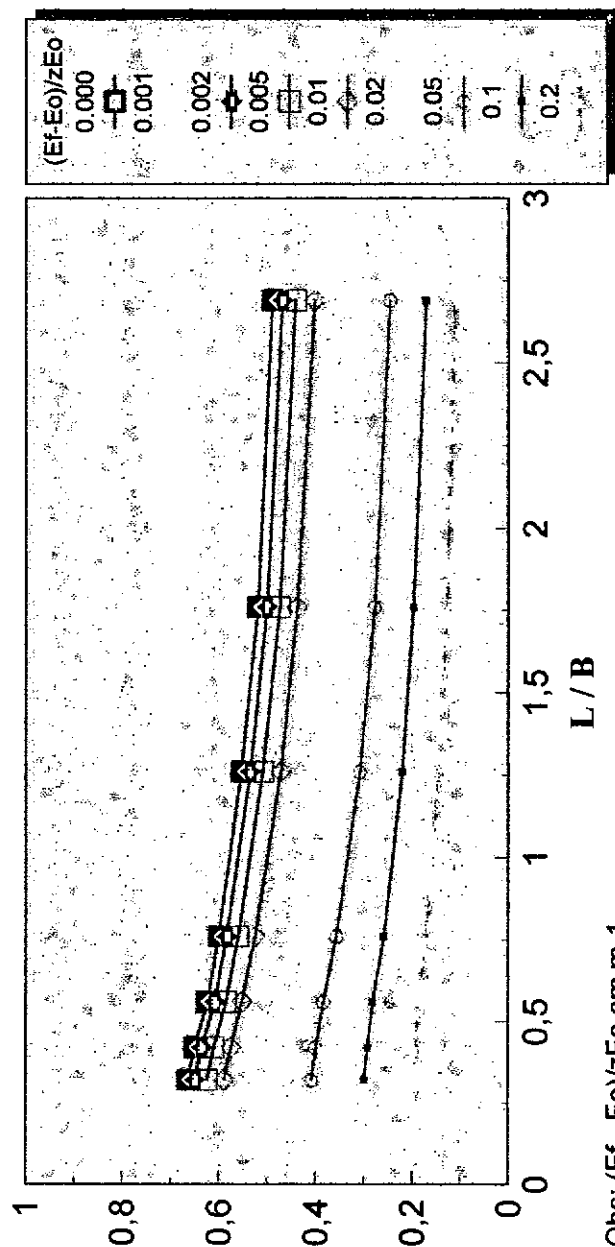


Figura 4.3 – Ábaco de Fator de Influência da Estaca T para $B/b = 6$

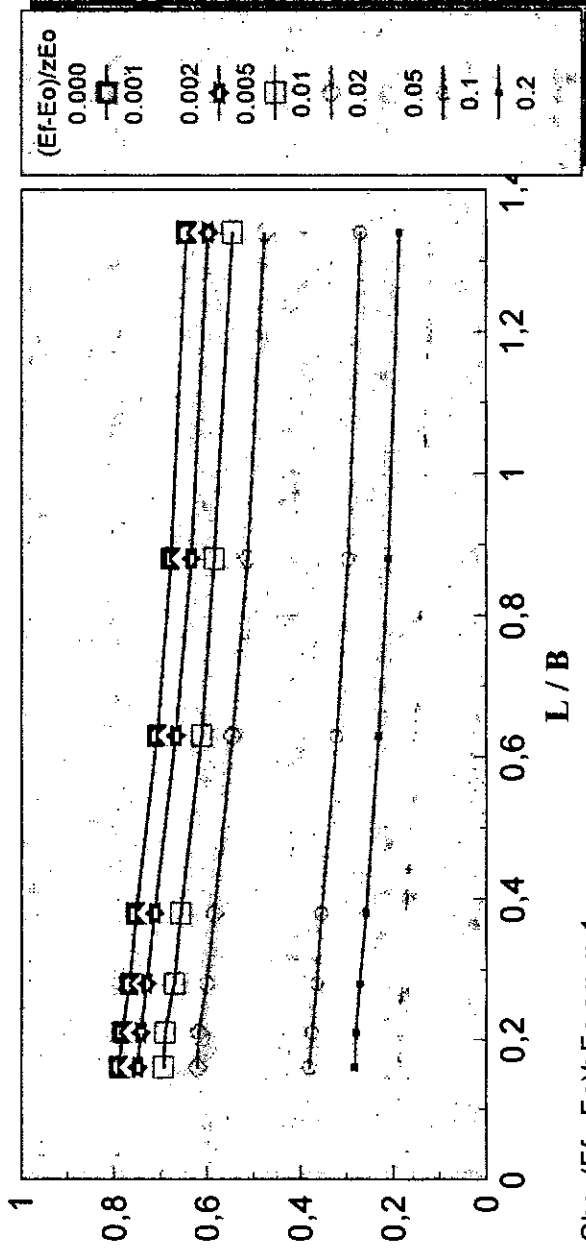
FATOR DE INFLUENCIA I



Obs: $(E_f - E_o)/zE_o$ em m^{-1}

Figura 4.4 – Ábaco Fator de Influência da Estaca T para $B/b = 10$

FATOR DE INFLUENCIA I



Obs: $(E_f - E_o)/zE_o$ em m^{-1}

Figura 4.5. – Ábaco de Fator de Influência da Estaca T para $B/b = 20$

4.3 REDUÇÃO DOS RECALQUES EM FUNÇÃO DA PROXIMIDADE DA FRONTEIRA RÍGIDA

Produziu-se um estudo complementar ao que acontece em termos de recalques, quando o bulbo de pressões da sapata ou o bulbo da estaca atinge uma fronteira rígida. Assim, se necessário, escolhe-se, a partir das condições de contorno do problema, o ábaco a ser utilizado (de redução de recalques, devido à presença do bulbo da sapata, ou de redução em função da presença do bulbo da estaca) e inclui-se, então, um fator multiplicativo na equação (4.1) I' que passa a ser:

$$w = B \frac{q}{E^*} I I' \quad (4.2)$$

Para o estudo em questão e confecção dos ábacos abaixo relacionados, foram geradas 261 malhas de elementos finitos distintas (Apêndice A.1).

O estudo da redução dos recalques em função da presença de uma fronteira rígida próxima, ou dentro do bulbo de pressões, seja da sapata, seja da estaca, é apresentado neste ítem do trabalho. Foram gerados dois gráficos, visando indicar, respectivamente, o fator de redução dos recalques em função dos bulbos de pressões da sapata (Figura 4.6) e da sapata (Figura 4.7).

No caso do gráfico de redução do fator de influência, face à presença da fronteira rígida na região do bulbo da sapata, foi adotada, como geometria padrão, a sapata com largura de seis metros e a estaca com comprimento de três metros. A escolha desta geometria possibilitou a predominância da influência do bulbo da sapata com a aproximação da fronteira.

No caso do gráfico de redução do fator de influência, em função da proximidade do bulbo da estaca (Figura 4.7) foi adotada, como geometria padrão, a mesma sapata anterior, porém, com um comprimento de estaca de 27m. Em ambos os casos o módulo de elasticidade foi considerado constante ao longo da profundidade.

A plotagem dos pontos se deu através da aproximação progressiva da fronteira rígida à ponta da estaca. No caso da estaca curta em relação às dimensões da sapata, esta aproximação levará a uma interpenetração da fronteira com o bulbo de pressões da sapata e, a partir de certo ponto, a interpenetração do bulbo da sapata com o da ponta da estaca. No caso da estaca comprida em relação às dimensões da sapata, esta aproximação se dá da mesma forma. Porém, a interpenetração entre a fronteira e o bulbo se deu apenas no bulbo da estaca, tendo em vista o afastamento e, portanto, a não influência da sapata na redução dos recalques.

No gráfico que indica a redução da taxa de influência dos recalques, em função do bulbo da sapata (Figura 4.6), pode-se notar o ponto anterior à linha vertical que delimita o trecho, em que ainda não houve interpenetração dos dois bulbos com a fronteira rígida. Em razão deste estudo, em relação aos gráficos anteriormente apresentados, podemos notar que a queda da fator de influência apresentada pelo primeiro gráfico seria em torno de dez a quinze por cento, ordem de grandeza de redução semelhante ao obtido no gráfico da direita (Figura 4.7). Assim, poder-se-ia admitir este valor de queda da taxa de influência, quando houver penetração no bulbo da estaca pela fronteira rígida.

Importante notar o limite em que ambas as curvas dos gráficos tendem com o aumento da relação especificada de a/b e a'/b' (Figura 4.8), ou seja, a partir do ponto em que os bulbos não mais influenciam no comportamento, o fator de influência face à

proximidade da fronteira rígida tenderá ao valor unitário e, a partir de então, apenas os fatores de influência originais serão considerados, sem redução alguma em seus valores.

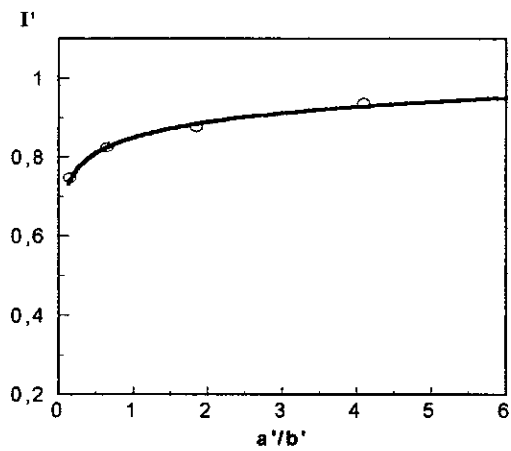
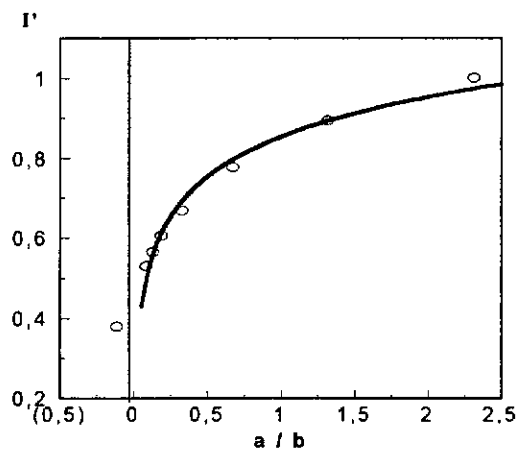


Figura 4.6 - Influência do bulbo da sapata Figura 4.7 – Influência do bulbo da estaca

No apêndice A.1 apresenta-se os arquivos utilizados no presente estudo .

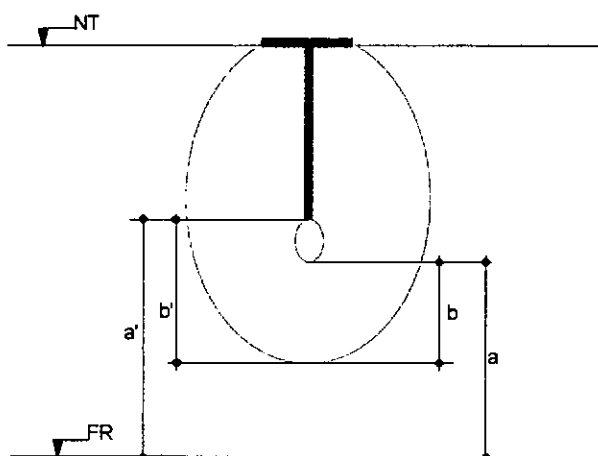


Figura 4.8- Definição das convenções utilizadas

4.4 COMPORTAMENTO ELÁSTICO NÃO LINEAR DA ESTACA T

Para o estudo do comportamento da Estaca T na ruptura, foram processados diversos casos de forma a se observar as curvas carga-recalque dos mesmos, além de diversos outros aspectos importantes da interação solo-estrutura. Para tal foram calculadas as cargas de ruptura, imaginando a capacidade de carga, como o somatório das resistências de uma estaca com a de uma fundação rasa. Desta forma temos que a resistência na ruptura do conjunto numa argila (condição não drenada) será:

$$Q_{ult} = 2\pi r \int_0^l S_u dz + N_{c_e} S_{c_e} S_{u_f} r^2 + N_{c_s} S_{c_s} S_{u_0} R^2 \quad (4.3)$$

$$Q_{ult} = 2\pi r \int_0^l \left[S_{u_0} \left(1 + \frac{P}{S_{u_0}} z \right) \right] dz + 9S_{u_0} \pi r^2 \left(1 + \frac{P}{S_{u_0}} L \right) + 6,2S_{u_0} \pi R^2 \quad (4.4)$$

$$Q_{ult} = 2\pi r S_{u_0} \int_0^l \left[\left(1 + \frac{P}{S_{u_0}} z \right) \right] dz + 9S_{u_0} \pi r^2 \left(1 + \frac{P}{S_{u_0}} L \right) + 6,2S_{u_0} \pi R^2 \quad (4.5)$$

$$Q_{ult} = 2\pi r S_{u_0} \left(L + \frac{PL^2}{2S_{u_0}} \right) + 9S_{u_0} \pi r^2 + 9S_{u_0} \pi r^2 \frac{P}{S_{u_0}} L + 6,2S_{u_0} \pi R^2 \quad (4.6)$$

Para $r = 0.5 \text{ m}$

$$S_{u_0} = 100 \text{ kPa}$$

$$Q_{ult} = 314,2L + 1,57PL^2 + 706,9 + 7,07PL + 1947,8R^2 \quad (4.7)$$

onde $L =$ comprimento da estaca

$R =$ raio da sapata

Para capacidade de carga do conjunto, em que a resistência não drenada permanece constante ao longo do estrato de solo, teremos:

$$Q_{ult} = 314,2L + 706,9 + 1947,8R^2 \quad (4.8)$$

Comprimento da estaca metros	Qult= kN	Fuste kN	Ponta kN	Sapata KN	Total KN
10,00	Qult1	3142,0	706,9	48695,0	52543,9
20,00	Qult2	6284,0	706,9	48695,0	55685,9
30,00	Qult3	9426,0	706,9	48695,0	58827,9
40,00	Qult4	12568,0	706,9	48695,0	61969,9
50,00	Qult5	15710,0	706,9	48695,0	65111,9
60,00	Qult6	18852,0	706,9	48695,0	68253,9
70,00	Qult7	21994,0	706,9	48695,0	71395,9
80,00	Qult8	25136,0	706,9	48695,0	74537,9
90,00	Qult9	28278,0	706,9	48695,0	77679,9
100,00	Qult10	31420,0	706,9	48695,0	80821,9

Tabela 4.1 – Cálculo da Capacidade de carga das associações sapata-estaca para R = 5m

Para capacidade de carga de conjunto, em que a resistência não drenada cresce linearmente ao longo do estrato de solo, teremos pela expressão 4.7, ou seja, para comprimento de estaca padronizado em 40m ($L/B = 4$) e sapata de diâmetro de 10m:

$$Q_{ult} = 12568 + 2512p + 706,9 + 282,80p + 48695 \quad (4.9)$$

p/S_{u0}	Qult = kN	Fuste KN	Ponta kN	Sapata kN	Total kN
0,000	Qult1	12568,0	706,90	48695,0	61969,9
0,001	Qult2	12819,2	735,18	48695,0	62249,4
0,002	Qult3	13070,4	763,46	48695,0	62528,9
0,005	Qult4	13824,0	848,30	48695,0	63367,3
0,010	Qult5	15080,0	989,70	48695,0	64764,7
0,020	Qult6	17592,0	1272,50	48695,0	67559,5
0,050	Qult7	25128,0	2120,90	48695,0	75943,9
0,100	Qult8	37688,0	3534,90	48695,0	89917,9
0,200	Qult9	62808,0	6362,90	48695,0	117865,9

Tabela 4.2 – Cálculo da capacidade de carga da Estaca T com a taxa de crescimento da resistência não drenada, crescendo com a profundidade

Assim, os resultados obtidos foram representados pelos gráficos das Figura 4.9 e 4.10. A Tabela 4.3 mostra os resultados obtidos pelo PROGEO2 para a variação do

comprimento da estaca. A Tabela 4.4 mostra os resultados para a variação da taxa de crescimento do módulo de elasticidade com a profundidade.

ARQUIVO	Percentuais da carga de ruptura					
	0%	25%	50%	70%	90%	100%
SAPATA	0,0000	0,0043	0,0109	0,0232	0,0831	0,3440
ETENLC1	0,0000	0,0040	0,0108	0,0261	0,1470	0,2650
ETENLC2	0,0000	0,0033	0,0099	0,0232	0,0894	0,1770
ETENLC3	0,0000	0,0026	0,0075	0,0158	0,0466	0,2090
ETENLC4	0,0000	0,0029	0,0069	0,0137	0,0326	0,0664
ETENLC5	0,0000	0,0028	0,0064	0,0120	0,0271	0,0544
ETENLC6	0,0000	0,0031	0,0068	0,0115	0,0240	0,0436
ETENLC7	0,0000	0,0030	0,0065	0,0100	0,0152	0,0201
ETENLC8	0,0000	0,0033	0,0071	0,0108	0,0157	0,0197
ETENLC9	0,0000	0,0034	0,0075	0,0114	0,0164	0,0199
ETENLC10	0,0000	0,0035	0,0077	0,0117	0,0169	0,0203

Tabela 4.3 – Recalques adimensionais obtidos na variação do comprimento da estaca

ARQUIVO	Percentuais de carga na ruptura					
	0%	25%	50%	70%	90%	100%
ETENLE1	0,0000	0,0029	0,0069	0,0137	0,0326	0,0664
ETENLE2	0,0000	0,0028	0,0067	0,0132	0,0310	0,0617
ETENLE3	0,0000	0,0027	0,0065	0,0128	0,0298	0,0606
ETENLE4	0,0000	0,0025	0,0060	0,0117	0,0264	0,0509
ETENLE5	0,0000	0,0023	0,0055	0,0104	0,0226	0,0428
ETENLE6	0,0000	0,0021	0,0049	0,0090	0,0184	0,0333
ETENLE7	0,0000	0,0019	0,0043	0,0073	0,0139	0,0228
ETENLE8	0,0000	0,0017	0,0041	0,0068	0,0124	0,0180
ETENLE9	0,0000	0,0018	0,0044	0,0072	0,0122	0,0162

Tabela 4.4 – Recalques adimensionais obtidos na variação do módulo de elasticidade

Para a observação dos resultados plotou-se os gráficos nas Figuras 4.9 e 4.10, onde podem ser observadas as curvas carga x recalque, obtidas através da simulação do carregamento feita pelo programa de elementos finitos.

Na Figura 4.9 pode-se observar os resultados da variação do comprimento da estaca. As cargas de ruptura do conjunto de alguns casos tiveram que ser aumentadas em até 40%, de forma a caracterizar a ruptura.

COMPORTAMENTO ELÁSTICO NÃO LINEAR DA ESTACA-TÃO DRENADO

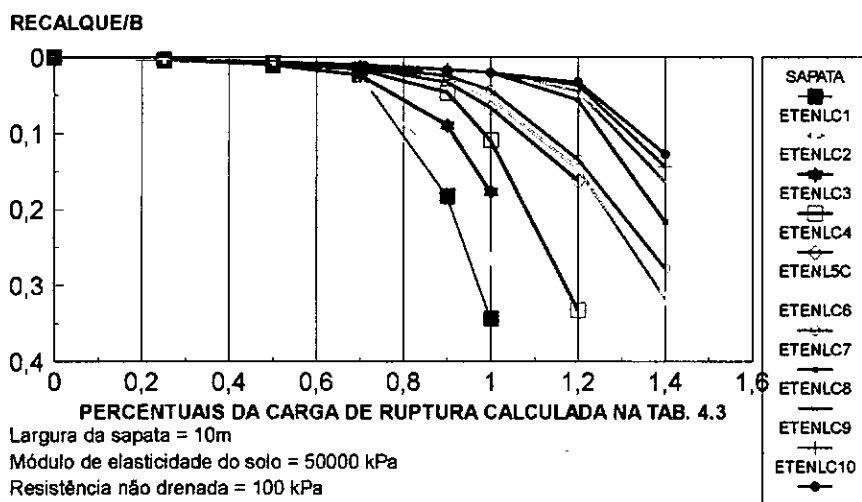


Figura 4.9- Curvas carga x recalque para a variação do comprimento da estaca

COMPORTAMENTO ELÁSTICO NÃO LINEAR DA ESTACA T - NÃO DRENADO

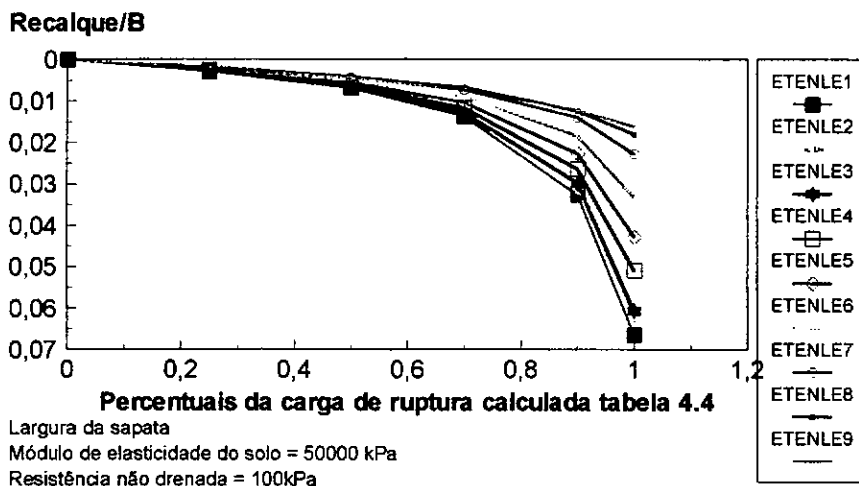


Figura 4.10- Curvas carga x recalque para a variação da taxa de crescimento do módulo de elasticidade do solo com a profundidade

Nas Figuras 4.11 a 4.14 podemos ver a malha de elementos finitos, referentes ao comportamento elástico não linear da sapata, mostrado na curva de carga x recalque apresentado na Figura 4.9. A Figura 4.11 mostra a malha de Elementos Finitos utilizada, a Figura 4.13 os contornos da razão tensão cisalhante por resistência, a Figura 4.12 a deformada do conjunto e a Figura 4.14 os vetores de deslocamento do conjunto.

Podemos notar pela Figura 4.13 o aparecimento de tensões mais elevadas na região das bordas da sapata, resultado coerente com o observado em cálculos analíticos.

Para ilustrar o comportamento de uma associação sapata estaca, no caso, da Estaca T, reproduzimos os resultados do carregamento em diversos estágios de carga, permitindo assim, a observação da evolução dos níveis de tensão impostos à estrutura. Foram indicados em seus níveis de carga o comportamento para 3 comprimentos de estaca distintos, representados pelos arquivos ETENLC1, ETENLC5 e ETENLC10.

No ETENLC1 o comprimento da estaca é de comprimento igual ao do diâmetro da sapata, no ETENLC5 o comprimento é igual a 5 vezes o diâmetro da sapata e no ETENLC10 o comprimento é 10 vezes superior ao diâmetro da sapata.

Para os arquivos apresentados, os incrementos de carga foram os indicados na Tabela 4.1, ou seja, teremos incrementos de carga aplicados de 25%, 50%, 70%, 90% e 100% da carga de ruptura calculada.

Os resultados obtidos para o caso de ETENLC1 pode ser observado nas Figura 4.15 a 4.20, onde as Figuras 4.17 a 4.20 representam a razão tensão cisalhante por tensão resistente.

Para efeito comparativo entre comportamentos no que se refere ao acréscimo do comprimento da estaca, mostramos o comportamento da Estaca T apresentado no arquivo ETENLC5, agora com comprimento de estaca 5 vezes superior ao diâmetro da sapata. Os resultados podem ser observados nas Figuras 4.21 a 4.26.

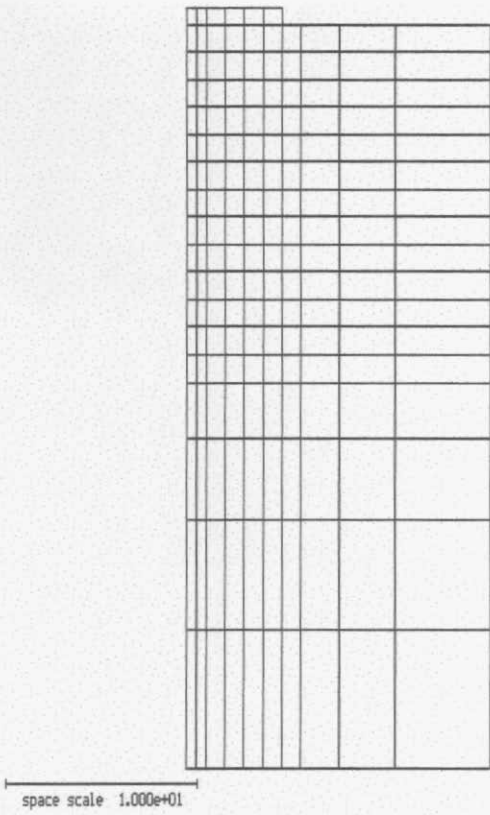


Figura 4.11 – Malha da sapata

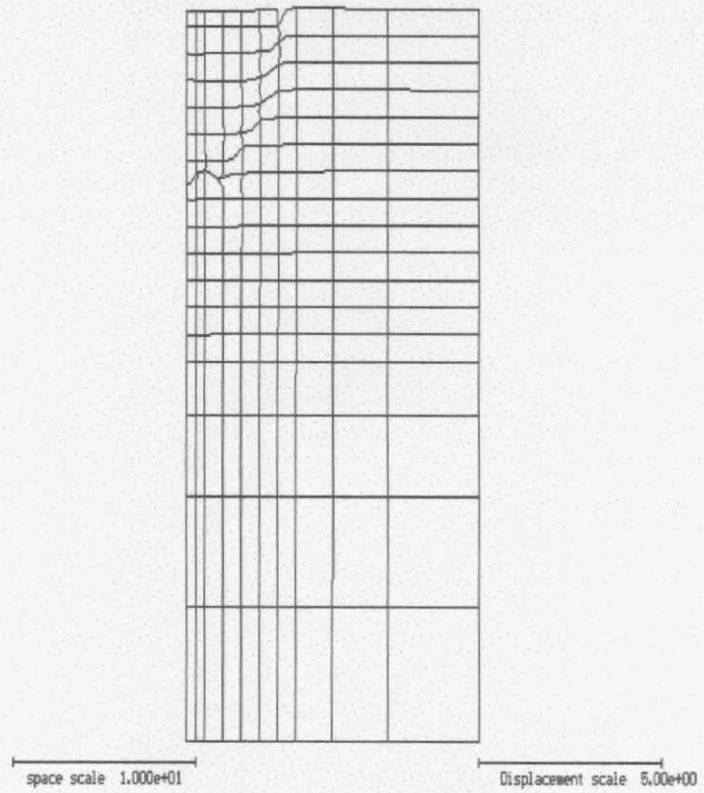


Figura 4.12 – Deformada da malha

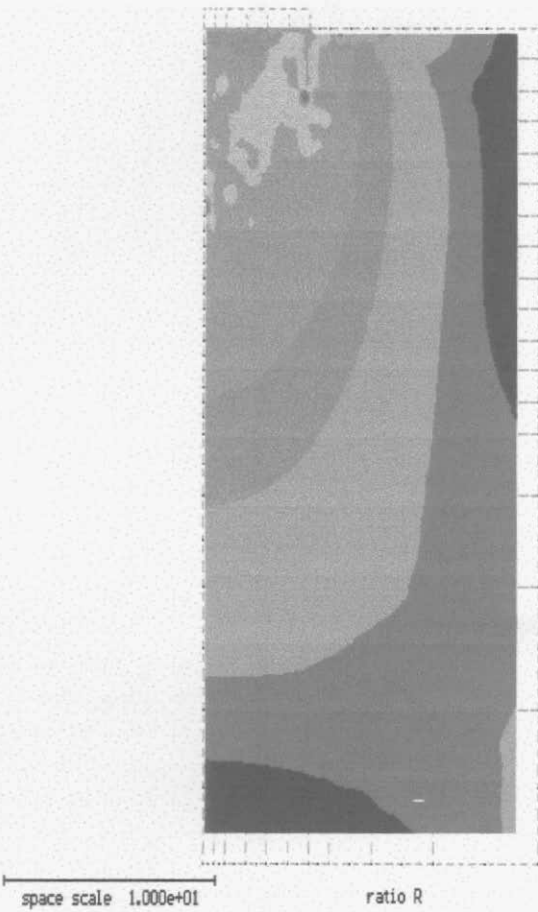


Figura 4.13 – Tensão cisalhante x resistência

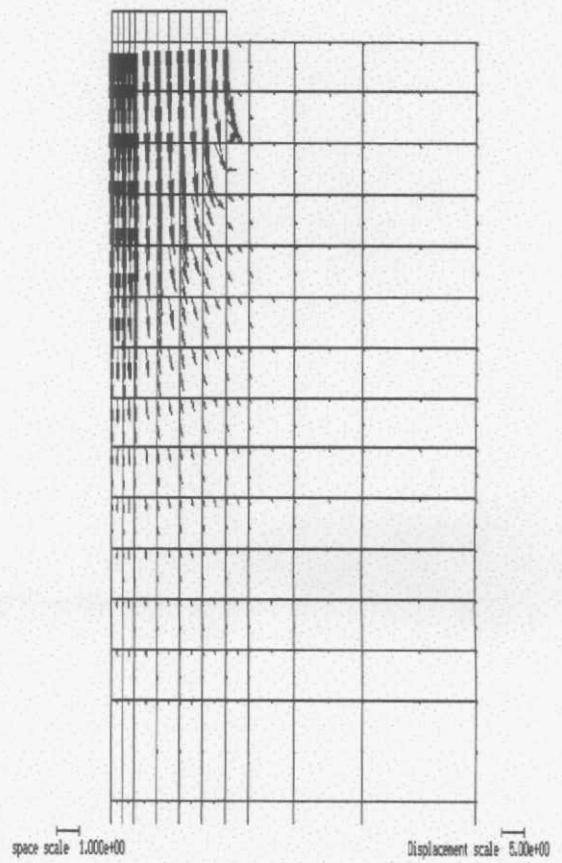


Figura 4.14 – Vetores de deslocamento

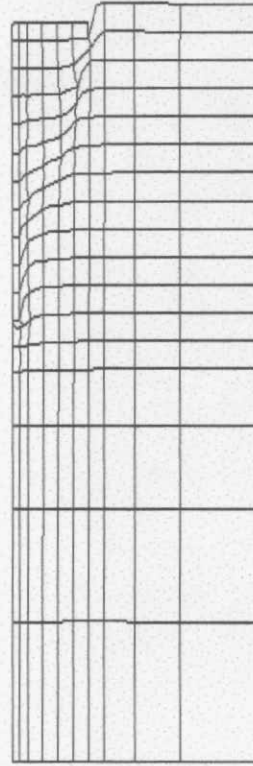
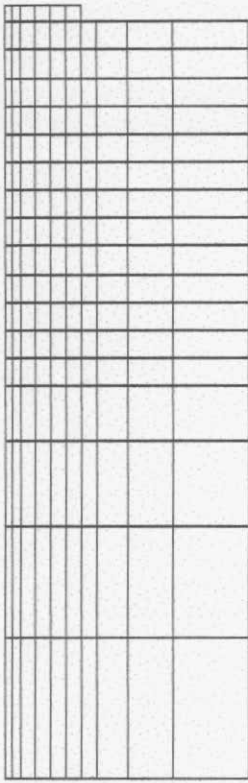
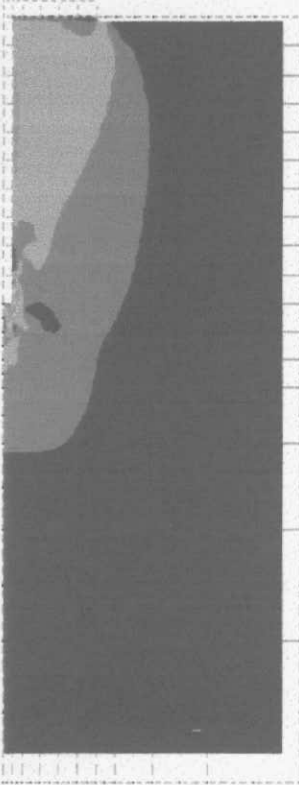


Figura 4.15 – Malha da ETENLC1 Figura 4.16 – Malha deformada

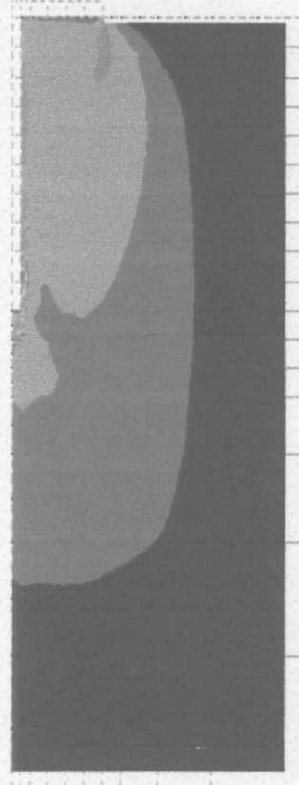
cale 2.00e+00

Relação Tensão cisalhante/tensão resistente para:



space scale 1.000e+01

ratio R



space scale 1.000e+01

ratio R

Figura 4.17– 25% do carregamento Figura 4.18 – 50% do carregamento

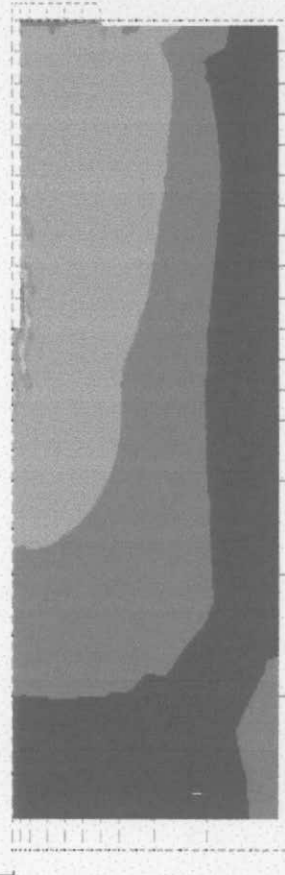
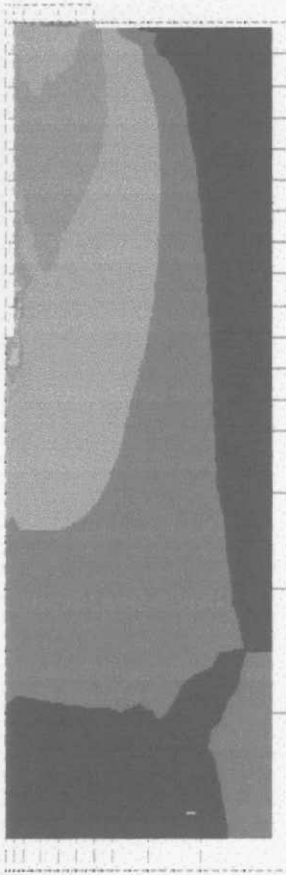


Figura 4.19 – 70% do carregamento

Figura 4.20 – 100% do carregamento

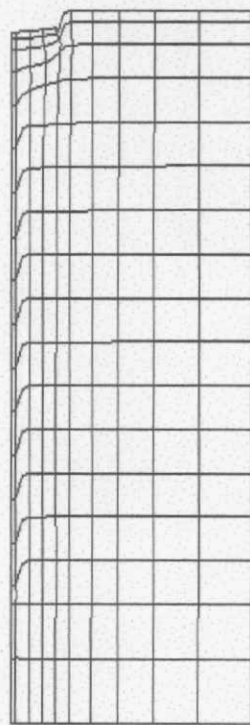
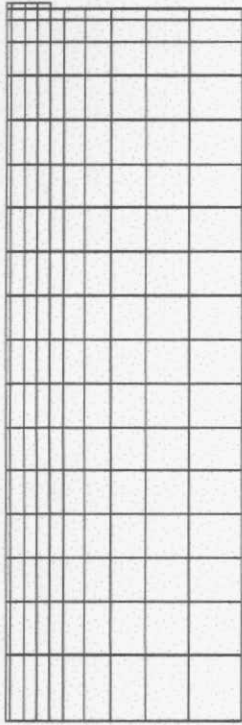
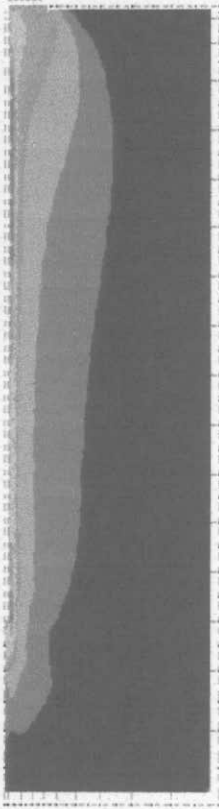


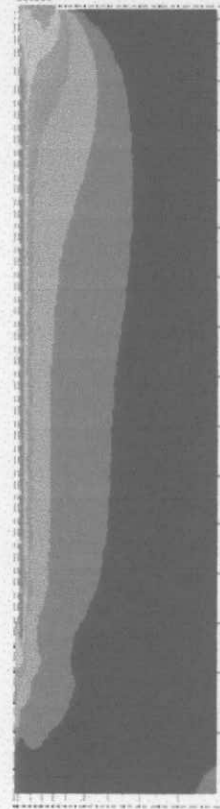
Figura 4.21 – Malha do ETENLC5

Figura 4.22 – Deformada da malha

Relação Tensão cisalhante/tensão resistente para:



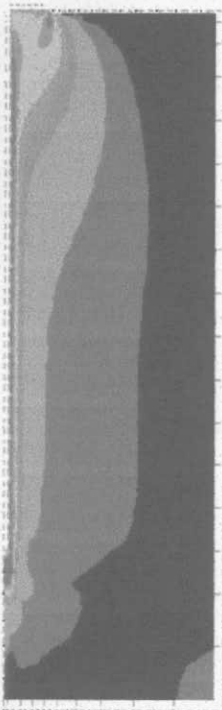
ratio R



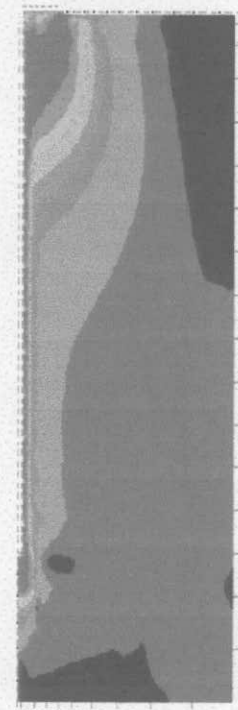
ratio R

Figura 4.23 – 25% do carregamento

Figura 4.24 – 50% do carregamento



ratio R



ratio R

Figura 4.25 – 70% do carregamento

Figura 4.26 – 100% do carregamento

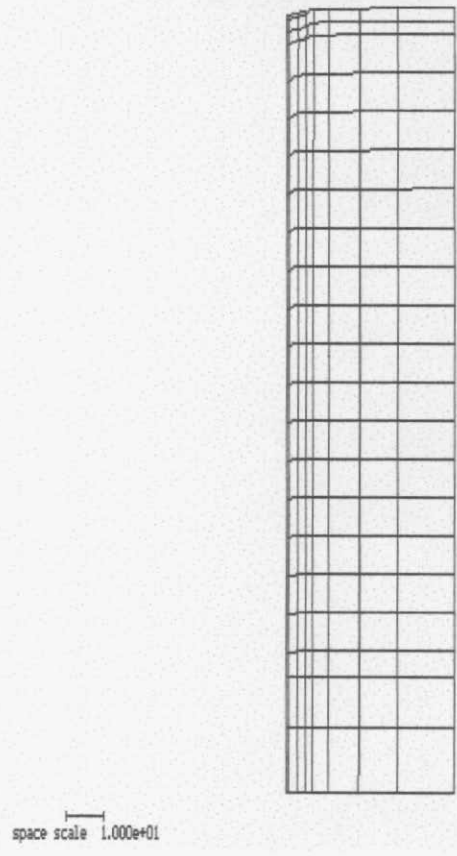
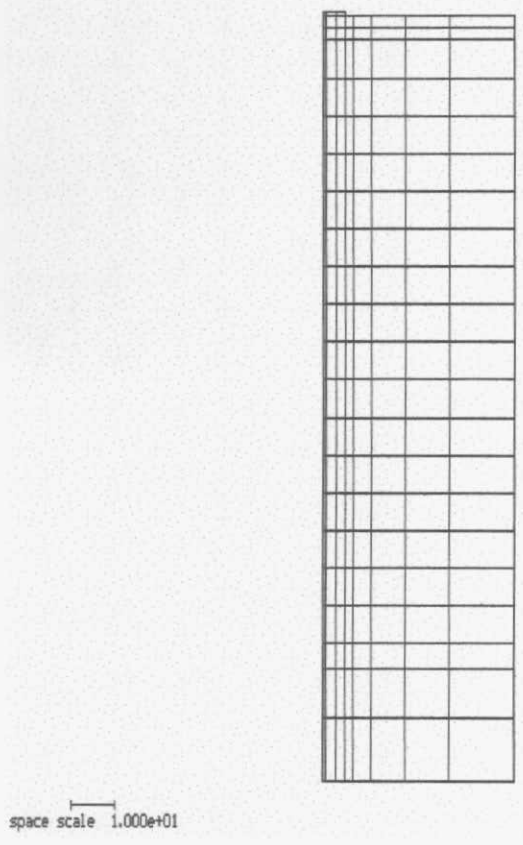


Figura 4.27 – Malha do ETENLC10

Figura 4.28 – Malha deformada

Relação Tensão cisalhante/tensão resistente para:

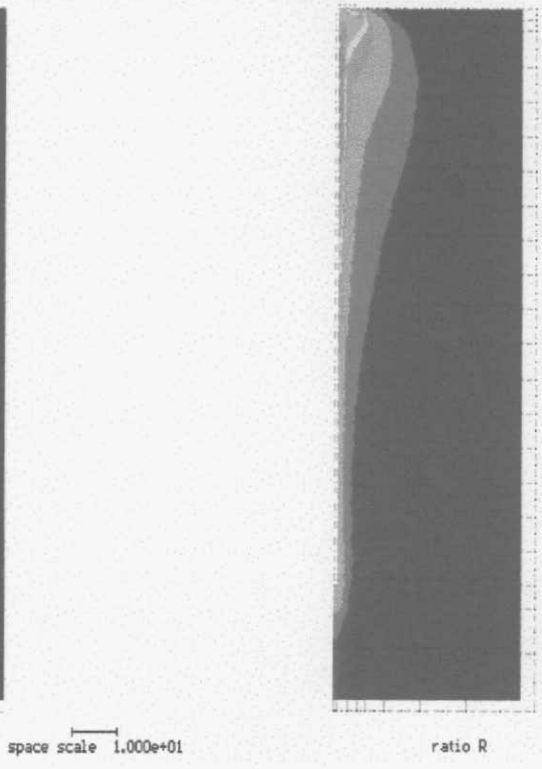
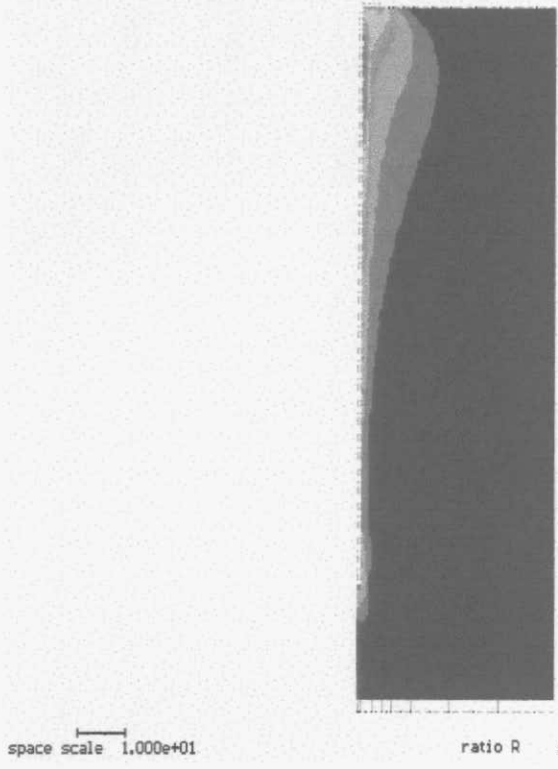


Figura 4.29 – 25% do carregamento

Figura 4.30 – 50% do carregamento

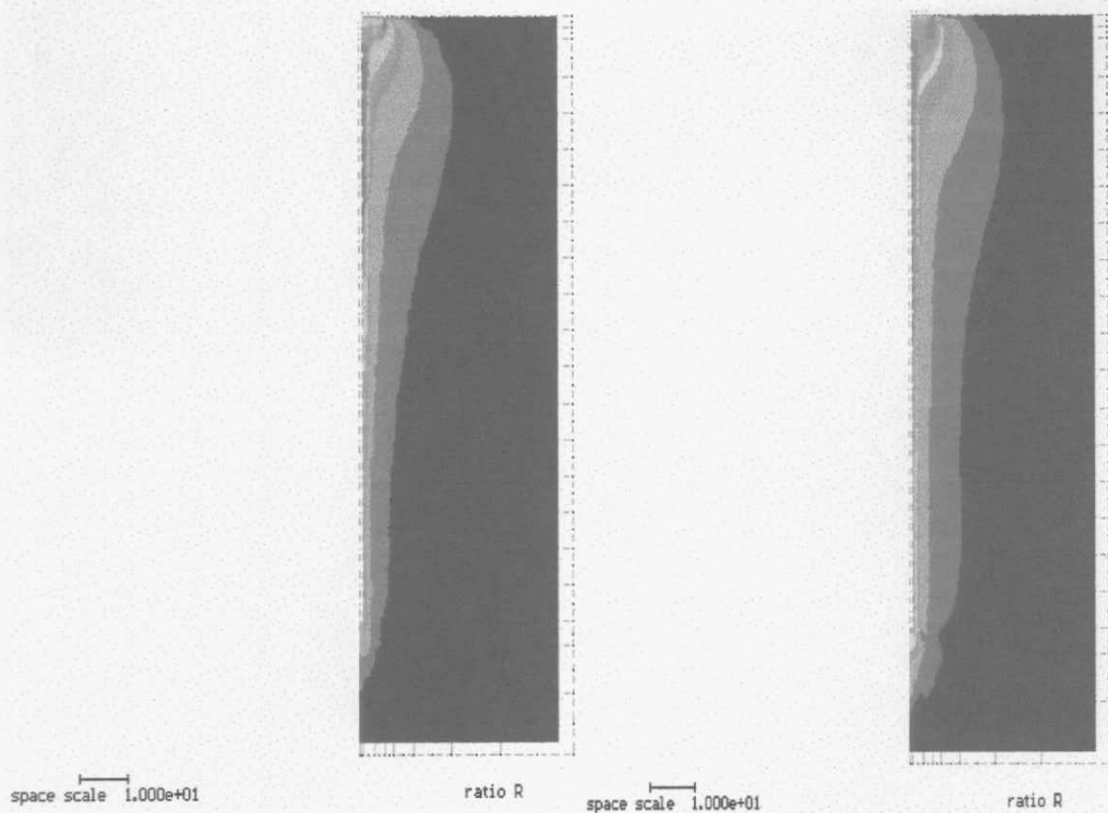


Figura 4.31 – 70% do carregamento Figura 4.32 – 100% do carregamento

Os resultados do arquivo ETENLC10 também são mostrados nas Figuras 4.27 a 4.32, onde também podemos verificar o comportamento do conjunto em presença do carregamento e o desenvolvimento das razões das tensões cisalhantes por tensões resistentes.

CAPÍTULO 5

APLICAÇÕES

5.1 ESTUDO DE UM CASO HIPOTÉTICO

Para uma exemplificação do procedimento proposto para o pré-dimensionamento de uma Estapata ou de uma Estaca T, propõe-se a situação de carga apresentada na Figura 5.1 para três tipos de fundação: (a) sapata simples, (b) Estapata e (c) Estaca T. Serão estimados os recalques para aquelas fundações e definidas as curvas carga-recalque da fase elástica das mesmas.

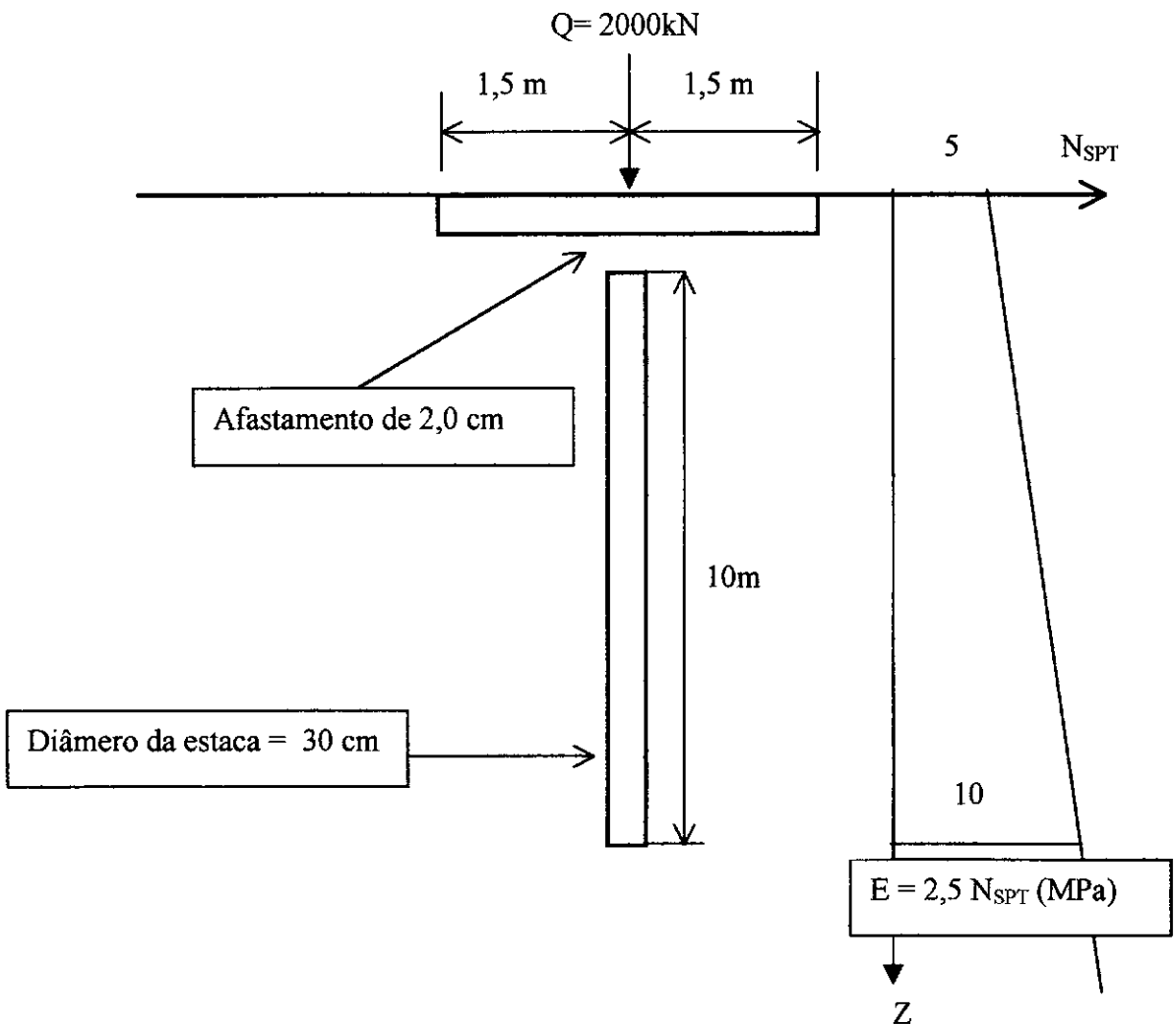


Figura 5.1 – Exemplo hipotético

Desta forma tem-se:

$$B = 3,00 \text{ m}$$

$$b = 0,30 \text{ m}$$

$$B/b = 10$$

$$L/B = 3,33$$

$$\text{Afastamento} = 2,0 \text{ cm}$$

Estimativa do módulo de elasticidade do solo (empiricamente):

$$E_0 \cong 2,5 \times N_{\text{SPT}} = 12,5 \text{ MPa}$$

$$E_f \cong 2,5 \times N_{\text{SPT}} = 25 \text{ Mpa}$$

Taxa de crescimento:

$$\left(\frac{E_f - E_0}{z E_0} \right) = \left(\frac{25000 - 12500}{10 \times 12500} \right) = 0,1$$

$$B/b = 10$$

$$L/B = 3,33$$

5.1.1 Uso dos Ábacos desta Tese

a) Cálculo para uma sapata isolada (sem a presença da estaca):

Da fórmula 3.9 tem-se que

$$w = B \frac{q}{E^*} I = 3 \times \frac{2000 \times 4}{\frac{\pi \times 3^2}{E_0} (1 - \nu^2)} \times I = 3 \times \frac{282,94}{12,500} \times 0,79 = 0,041 \text{ m} = 4,1 \text{ cm}$$

b) Cálculo para uma Estapata:

$$\text{Da fórmula 3.9 temos que } w = B \frac{q}{E^*} I$$

Logo

Figura 3.13

$$w = 3 \times \frac{\frac{2000 \times 4}{\pi \times 3^2}}{\frac{E_0}{(1-\nu^2)}} \times I = 3 \times \frac{282,94}{16449,5} \times 0,49 = 0,025 \text{ m} = 2,5 \text{ cm}$$

Como o recalque obtido é superior ao afastamento entre a base da sapata e o topo da estaca, precisa-se descobrir a parcela suportada pela estaca T, para que com a diferença promova-se o desenvolvimento da curva carga-recalque, à semelhança do mostrado na Figura 3.10. Assim tem-se,

$$Q_{\text{Estaca T}} = Q_{\text{aplicado}} - Q_{\text{absorvido Estapata}} = 2000 - \left(\frac{w \times E^*}{BI} \right) \times \frac{\pi B^2}{4}$$

$$Q_{\text{Estaca T}} = 2000 - \left(\frac{0,02 \times 16449,5}{3 \times 0,49} \right) \times \frac{\pi 3^2}{4} = 418,03 \text{ kN}$$

Para calcular o recalque relativo suportado pela Estaca T tem-se:

Figura 4.4

$$w = \frac{B \times q \times I}{E^*} = \frac{3 \times \left(\frac{418,03}{\pi \times B^2 / 4} \right) \times 0,18}{16449,5} = 0,002 \text{ m}$$

Assim o gráfico de comportamento da Estapata ficará como o visto na

Figura 5.2

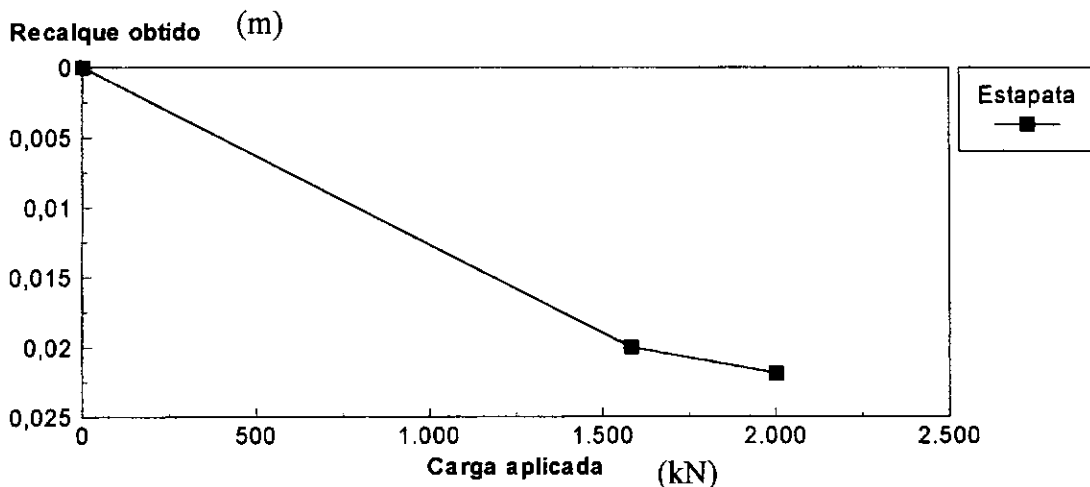


Figura 5.2- Curva carga x recalque da Estapata

c) Cálculo para uma Estaca T (sem o afastamento entre a base da sapata e o topo da estaca)

$$w = B \frac{q}{E^*} I = w = 3 \times \frac{2000 \times 4}{\frac{\pi \times 3^2}{E_0} \times I} = 3 \times \frac{282,94}{\frac{12,500}{1 - 0,49^2}} \times 0,180 = 0,009 \text{ m} = 0,9 \text{ cm}$$

Figura 4.4

d) Comparação com Método de Poulos e Davis

A comparação será feita apenas com a Estaca T, e consiste na aplicação da solução proposta por Poulos e Davis para radier estaqueado, mostrada no Capítulo 2 deste trabalho. A estimativa de recalque para o elemento vertical foi baseada no trabalho de Poulos e Davis (1980). Assim, tem-se pela Figura 2.2:

$$\frac{d_c}{d} = \frac{3,0}{0,30} = 10$$

$$\frac{L}{d} = \frac{10}{0,30} = 33,3$$

$$R_c = \frac{\text{Recalque da unidade com a sapata}}{\text{Recalque de uma estaca livre}} = 0,77$$

Para a estimativa dos recalques de uma estaca isolada temos (Poulos e Davis, 1980):

$$w = \frac{PI}{E_s d} = \frac{2000 \times (0,058 \times 1,1 \times 1,0 \times 1,0)}{18750 \times 0,30} = 0,023 \text{ m}$$

onde

P = carga vertical aplicada

I = Fator de influência obtido em ábacos dos autores

E_s = Módulo de Elasticidade do solo

d = diâmetro da estaca

Logo o recalque da unidade com a sapata (Estaca T)

$$w_{\text{Estaca T}} = 0,0227 \times 0,77 = 0,018 = 1,8 \text{ cm}$$

Para um comparativo com solos homogêneos temos

a) Uso dos Ábacos desta Tese:

$$w_{\text{Estaca T}} = 3 \times \frac{282,94}{16449,5} \times 0,50 = 0,0258 \text{ m} \cong 2,6 \text{ cm}$$

b) Uso do Método de Poulos e Davis

$$w = \frac{2000 \times (0,058 \times 1,1 \times 1,0 \times 1,0)}{12500 \times 0,30} = 0,034 \text{ m}$$

$$w_{\text{Estaca T}} = 0,034 \times 0,77 = 0,0262 \text{ m} \cong 2,6 \text{ cm}$$

Estes resultados mostram coerência entre os dois métodos, com uma diferença de apenas 2%.

5.2 ESTUDO DE UM CASO REAL

Foi encontrado na literatura técnica um caso de prova de carga em Estaca T, relatado por Campos e Ramires (1996) e discutido por Decourt (1996). Trata-se de uma Estaca T experimental, parte das investigações para definição das fundações de um edifício comercial na Av. Paulista, em São Paulo. Foram realizadas 2 provas de carga: (1) só na estaca (sapata desencostada) e (2) na Estaca T (sapata encostada no terreno).

Os resultados obtidos podem ser resumidos da seguinte forma:

- Prova de carga só na estaca: para carga de 2000 kPa $w \cong 4$ mm
- Prova de carga na Estaca T para carga de 3000 kPa $w \cong 8$ mm

O subsolo local é constituído por uma argila laterítica rija saturada, e caracterizada apenas através do SPT. Foi cravada uma estaca de concreto armado centrifugado, de diâmetro externo de 0,5 m e comprimento de 9,6m, acoplada a uma sapata de formato quadrado e lado 1,8m. O valor de N_{SPT} médio no trecho de interesse é de 14 golpes. Com base em relações empíricas (como $E \approx 2,5 N_{SPT}$ em MPa), esperar-se-ia um módulo de elasticidade da ordem de 35 MPa.

Procedeu-se à estimativa de recalques para as 2 situações da prova de carga com a metodologia proposta, e os resultados constam da Tabela 5.1.

Aparentemente, o módulo de elasticidade do solo é maior (talvez o dobro) que 35MPa, considerando o recalque da Estaca T. Já a comparação do recalque da estaca isolada ficou prejudicada pela falta de precisão da fase inicial do gráfico da prova de carga.

	Método de cálculo com $E = 35$ Mpa (cm)	Prova de carga (cm)
Estaca com $Q = 2000$ kN	1,1	0,4*
Estaca T com $Q = 3000$ kN	1,4	0,7

* valor tirado sem precisão do resultado da prova de carga

Tabela 5.1- Comparativo dos resultados das provas de carga

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser tiradas deste trabalho:

- ❑ As associações sapata-estaca são soluções interessantes para a prática de fundações. Os recalques se reduzem significativamente quando uma estaca é usada sob a sapata.
- ❑ Foram apresentados no trabalho alguns métodos de dimensionamento de radiers estaqueados, métodos estes coletados na bibliografia técnica. Porém, o método proposto para a Estapata e Estaca T consiste em uma contribuição ao tema em estudo.
- ❑ Face à complexidade do problema, o Método de Elementos Finitos se mostra uma ferramenta bastante útil para este tipo de estudo, provendo inúmeros resultados interessantes para o entendimento do comportamento.
- ❑ O estudo paramétrico realizado produziu resultados coerentes, que conduziram a ábacos para a metodologia proposta.
- ❑ Os resultados do estudo paramétrico podem ser aplicados a casos reais, segundo a metodologia apresentada, incorporando tanto os casos de Estapata como da Estaca T.
- ❑ O resultado da aplicação a um caso hipotético mostrou a redução obtida com o uso de associações sapata-estaca. A aplicação a um caso real ainda precisa ser melhor trabalhada.

Sugestões para Pesquisas Futuras:

- ❑ Estudo paramétrico elástico não linear do comportamento da Estapata.

- Estudo detalhado da transferência de cargas e distribuição da carga ao longo da Estaca T e da Estapata.
- Verificação da influência da rigidez da sapata na distribuição das cargas e, conseqüentemente, na curva carga-recalque.
- Verificação da influência da rigidez da estaca na distribuição das cargas e, conseqüentemente, na curva carga-recalque.
- Formação de um banco de dados, visando a retro-análise de casos reais e possibilitando o estabelecimento de relações empíricas do tipo $E = f(N_{SPT})$ com uma maior confiabilidade.

BIBLIOGRAFIA

BOWLES, J., F., 1969, "Foundation Analysis and Design", Mc Graw Hill.

BROWN, P.T., POULOS, H.G., WISENER, T.J., 1976, "Piled Raft Foundation Design", Report nº 299, The University of Sydney, Sydney.

BUTTERFIELD, R. AND BANERJEE, P.K. , 1971, "The problem of pile group – pile cap interaction", Geotechnique, Vol. 21, nº2, pp. 135-142.

CAMPOS, G.C. E RAMIRES SOBRINHO, R. , 1996, "Comportamento de Fundação Mista em Prova de Carga Estática instrumentada". Anais do 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, Vol. 1, pp. 193-204, São Paulo, S.P.

CEPOLLINA, M., DE MELLO, L.G.F.S., DE OLIVEIRA, F.J.P., 1982, "Utilização de Estacas como Elementos Redutores de Recalques", Revista Construção Pesada, pp. 54-63.

COMBARIEU, O., MORBOIS, A., 1982, 'Foundation Mixtes Semelle-Pieux', Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Sols et Foundation, nº 410, pp. 3-34.

DÉCOURT, L., 1994, "Uma Aplicação Prática da Teoria dos Radiers Estaqueados: a Estaca T", 10º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, vol. 1, Foz do Iguaçu.

DÉCOURT, L. , 1996, “Comportamento de uma Estaca T submetida a Carregamentos elevados”, Anais do 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, vol. 1, pp. 205-213, São Paulo, S. P, Nov.

FLEMING, W.G.K., WELTMAN, A.J., RANDOLPH, M.F., ELSON, W.K., 1992, “Piling Engineering”, Blackie & Son, Glasgow, and John Wiley and Sons, New York,.

GIROUD, J.P., 1968, “Settlement of a Linearly Loaded Rectangular Area”, Journal of Soil Mechanics Divin., ASCE, vol. 94, nº SM4, pp. 813-831.

HAIN, S.J., LEE,I.K., 1978, “Analysis of Flexible Raft-Pile Systems”- Geotechnique, vol. 28, nº 1, pp. 65-83.

LIU, W., NOVAK, M., 1991, “Soil-Pile-Cap Static Interaction Analysis by Finite and Infinite Elements, Journal of Canadian Geotechnique, vol. 28, pp. 771-783.

LONG, P.D., 1993, “Footings with Settlement – Reducing Piles in Non-Cohesive Soil”, D. Sc. Dissertation, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

MEYERHOF, G.G., 1959, “Compaction of Sands and Bearing Capacity of Piles”, Proc. ASCE, JSMFD, vol. 85, Nº SM6, pp. 1-29.

POULOS, H.G., DAVIS, E.H., 1980, “Pile Foundation Analysis and Design”, New York, John Willey & Sons.

POULOS, H.G., 1989, "Pile behavior Theory and Application", The Rankine Lecturer, Geotechnique, vol. 39, n° 3, pp. 365-415.

POULOS, H. G., 1994, "Alternative Design Strategies for Piled Raft Foundations", Proc. of 3rd International Conference on Deep Foundation Practice, Cingapura.

RANDOLPH, M.F., 1983, "Design of Piled Raft Foundations", Cambridge University, Engineering Department, Research Report Soils, TR 163.

RANDOLPH, M.F., 1994, "Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts", Proc. XIII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. 5, pp. 61-82.

SKEMPTON, W., 1953, "Piles and Pile Foundation, Settlement of Pile Foundation. Discussions", Proc. of 3^o ICSMFE, Zurich, vol. 3, p.172.

VAL, E.C., 1995, "Design of a Safe and Economic piled-Footing Foundation", 10^o Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. 2, Gadalajara, Mexico.

VESIC, A.S. , 1969, "Experiments with Instrumented Pile Groups in Sand", Performance of Deep foundations, ASTM, STP 444, pp. 177-222.

**APÊNDICE A.1 -Análise elástico linear do comportamento da
Estapata
Resumo dos arquivos utilizados**

<i>Arq.</i>	<i>Tensão apl. (tf/m²)</i>	<i>B (m)</i>	<i>b (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>e (m)</i>	<i>Dist Fr.rg (m)</i>	<i>Eo (tf/m²)</i>	<i>Coef Po.</i>	<i>p (tf/m)</i>	<i>Z* (m)</i>	<i>Esp. Rad (m).</i>	<i>E= 2XEo (tf/m²)</i>
1-pr4c1	100	4	1	18.2	0.10	15.6	1000	0.49	0	0	0.60	0
2-pr4c2	100	4	1	18.2	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
3-pr4c3	100	4	1	18.2	0.10	15.6	10000	0.49	0	0	0.60	0
4-pr6c1	100	6	1	18.2	0.10	15.6	1000	0.49	0	0	0.60	0
5-pr6c2	100	6	1	18.2	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
6-pr6c3	100	6	1	18.2	0.10	15.6	10000	0.49	0	0	0.60	0
7-pr10c1	100	10	1	18.2	0.10	15.6	1000	0.49	0	0	0.60	0
8-pr10c2	100	10	1	18.2	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
9pr10c3	100	10	1	18.2	0.10	15.6	10000	0.49	0	0	0.60	0
10-pr20c1	100	20	1	18.2	0.10	15.6	1000	0.49	0	0	0.60	0
11-pr20c2	100	20	1	18.2	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
12-pr20c3	100	20	1	18.2	0.10	15.6	10000	0.49	0	0	0.60	0
13-pr4c2c3	100	4	1	03.1	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
14-pr4c2c4	100	4	1	04.1	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
15-pr4c2c5	100	4	1	05.5	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
16-pr4c2c8	100	4	1	07.5	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
17-pr4c2c13	100	4	1	12.5	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
18-pr4c2c18	100	4	1	17.5	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
19-pr4c2c27	100	4	1	26.8	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
20-pr4c2e0	100	4	1	17.5	0.00	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
21-pr4c2e05	100	4	1	17.5	0.05	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
22-pr4c2e10	100	4	1	17.5	0.10	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
23-pr4c2e20	100	4	1	17.4	0.20	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
24-pr4c2e30	100	4	1	17.3	0.30	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
25-pr4c2e50	100	4	1	17.1	0.50	15.6	5000	0.49	0	0	0.60	0
26-pr4c2vp1	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0.024	0	0.60	0
27-pr4c2vp2	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0.025	0	0.60	0
28-pr4c2vp3	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0.0262	0	0.60	0
29-pr4c2vp4	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0.0286	0	0.60	0
30-pr4c2vp5	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0.0357	0	0.60	0
31-pr4c2vp6	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0.0429	0	0.60	0
32-pr4c2vp7	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0.0476	0	0.60	0
33-pr4c2vp8	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0.0595	0	0.60	0
34-pr4c2vp9	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0.0714	0	0.60	0
35-pr4c2ec1	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	4.2	0.60	10000
36-pr4c2ec2	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	9.2	0.60	10000
37-pr4c2ec3	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	14.2	0.60	10000
38-pr4c2ec4	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	19.2	0.60	10000

39-pr4c2ec5	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	23.6	0.60	10000
40-Pr4c2ec6	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	26.8	0.60	10000
41-Pr4c2ee1	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	4.2	0.60	10000
42-Pr4c2ee2	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	9.2	0.60	10000
43-Pr4c2ee3	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	14.2	0.60	10000
44-Pr4c2ee4	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	19.2	0.60	10000
45-Pr4c2ee5	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	23.6	0.60	10000
46-Pr4c2ee6	100	4	1	26.8	0.10	15.3	5000	0.49	0	26.8	0.60	10000

Arquivos utilizados na relação de B/b = 4

<i>Arq.</i>	<i>Tensão Apl. (tf/m²)</i>	<i>B (m)</i>	<i>b (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>e (m)</i>	<i>Dist Fr.rg (m)</i>	<i>Eo (tf/m²)</i>	<i>Coef. Po.</i>	<i>p (tf/m)</i>	<i>Z (m)</i>	<i>Esp. Rad (m).</i>	<i>E= 2XEo (tf/m²)</i>
Sapt04d1	10	4	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt04d2	25	4	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt04d3	50	4	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt04d4	100	4	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c03d1	10	4	1,0	3,2	0,01	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c03d2	25	4	1,0	3,2	0,025	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c03d3	50	4	1,0	3,2	0,05	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c03d4	100	4	1,0	3,2	0,10	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c04d1	10	4	1,0	4,2	0,01	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c04d2	25	4	1,0	4,2	0,025	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c04d3	50	4	1,0	4,2	0,05	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c04d4	100	4	1,0	4,2	0,10	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c05d1	10	4	1,0	5,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c05d2	25	4	1,0	5,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c05d3	50	4	1,0	5,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c05d4	100	4	1,0	5,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp4c08d1	10	4	1,0	7,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp4c08d2	25	4	1,0	7,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp4c08d3	50	4	1,0	7,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp4c08d4	100	4	1,0	7,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp4c13d1	10	4	1,0	12,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
Sp4c13d2	25	4	1,0	12,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
Sp4c13d3	50	4	1,0	12,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
Sp4c13d4	100	4	1,0	12,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
Sp4c18d1	10	4	1,0	17,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
Sp4c18d2	25	4	1,0	17,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
Sp4c18d3	50	4	1,0	17,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0

Sp4c18d4	100	4	1,0	17,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
Sp4c27d1	10	4	1,0	26,9	0,01	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
Sp4c27d2	25	4	1,0	26,9	0,025	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
Sp4c27d3	50	4	1,0	26,9	0,05	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
Sp4c27d4	100	4	1,0	26,9	0,10	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0

Arquivos utilizados na relação de B/b = 6

Arq.	Tensão Apl. (tf/m ²)	B (m)	b (m)	L (m)	e (m)	Dist Fr.rg (m)	Eo (tf/m ²)	Coef. Po.	p (tf/m)	Z (m)	Esp. Rad (m)	E= 2XEo (tf/m ²)
Sapt06d1	10	6	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt06d2	25	6	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt06d3	50	6	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt06d4	100	6	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c03d1	10	6	1,0	3,2	0,01	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c03d2	25	6	1,0	3,2	0,025	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c03d3	50	6	1,0	3,2	0,05	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c03d4	100	6	1,0	3,2	0,10	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c04d1	10	6	1,0	4,2	0,01	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c04d2	25	6	1,0	4,2	0,025	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c04d3	50	6	1,0	4,2	0,05	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c04d4	100	6	1,0	4,2	0,10	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c05d1	10	6	1,0	5,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c05d2	25	6	1,0	5,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c05d3	50	6	1,0	5,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c05d4	100	6	1,0	5,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp6c08d1	10	6	1,0	7,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp6c08d2	25	6	1,0	7,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp6c08d3	50	6	1,0	7,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp6c08d4	100	6	1,0	7,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp6c13d1	10	6	1,0	12,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
Sp6c13d2	25	6	1,0	12,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
Sp6c13d3	50	6	1,0	12,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
Sp6c13d4	100	6	1,0	12,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
Sp6c18d1	10	6	1,0	17,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
Sp6c18d2	25	6	1,0	17,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
Sp6c18d3	50	6	1,0	17,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
Sp6c18d4	100	6	1,0	17,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0

Sp6c27d1	10	6	1,0	26,9	0,01	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
Sp6c27d2	25	6	1,0	26,9	0,025	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
Sp6c27d3	50	6	1,0	26,9	0,05	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
Sp5c27d4	100	6	1,0	26,9	0,10	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0

Arquivos utilizados na relação de B/b = 10

Arq.	Tensão Apl. (tf/m ²)	B (m)	b (m)	L (m)	e (m)	Dist Fr.rg (m)	Eo (tf/m ²)	Coef. Po.	p (tf/m)	Z (m)	Esp. Rad (m)	E= 2XEo (tf/m ²)
Sapt10d1	10	10	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt10d2	25	10	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt10d3	50	10	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt10d4	100	10	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c3d1	10	10	1,0	3,2	0,01	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c3d2	25	10	1,0	3,2	0,025	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c3d3	50	10	1,0	3,2	0,05	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c3d4	100	10	1,0	3,2	0,10	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c4d1	10	10	1,0	4,2	0,01	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c4d2	25	10	1,0	4,2	0,025	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c4d3	50	10	1,0	4,2	0,05	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c4d4	100	10	1,0	4,2	0,10	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c5d1	10	10	1,0	5,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c5d2	25	10	1,0	5,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c5d3	50	10	1,0	5,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c5d4	100	10	1,0	5,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp10c8d1	10	10	1,0	7,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp10c8d2	25	10	1,0	7,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp10c8d3	50	10	1,0	7,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp10c8d4	100	10	1,0	7,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
S10c13d1	10	10	1,0	12,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
S10c13d2	25	10	1,0	12,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
S10c13d3	50	10	1,0	12,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
S10c13d4	100	10	1,0	12,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
S10c18d1	10	10	1,0	17,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
S10c18d2	25	10	1,0	17,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
S10c18d3	50	10	1,0	17,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
S10c18d4	100	10	1,0	17,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0

S10c27d1	10	10	1,0	26,9	0,01	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
S10c27d2	25	10	1,0	26,9	0,025	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
S10c27d3	50	10	1,0	26,9	0,05	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
S10c27d4	100	10	1,0	26,9	0,10	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0

Arquivos utilizados na relação de B/b = 20

<i>Arq.</i>	<i>Tensão Apl. (tf/m²)</i>	<i>B (m)</i>	<i>b (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>E (m)</i>	<i>Dist Fr.rg (m)</i>	<i>Eo (tf/m²)</i>	<i>Coef. Po.</i>	<i>p (tf/m)</i>	<i>Z (m)</i>	<i>Esp. Rad (m).</i>	<i>E= 2XEo (tf/m²)</i>
Sapt20d1	10	20	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt20d2	25	20	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt20d3	50	20	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sapt20d4	100	20	-	-	-	15,3	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c3d1	10	20	1,0	3,2	0,01	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c3d2	25	20	1,0	3,2	0,025	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c3d3	50	20	1,0	3,2	0,05	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c3d4	100	20	1,0	3,2	0,10	18,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c4d1	10	20	1,0	4,2	0,01	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c4d2	25	20	1,0	4,2	0,025	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c4d3	50	20	1,0	4,2	0,05	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c4d4	100	20	1,0	4,2	0,10	17,0	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c5d1	10	20	1,0	5,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c5d2	25	20	1,0	5,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c5d3	50	20	1,0	5,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c5d4	100	20	1,0	5,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	21,2	0,60	0
Sp20c8d1	10	20	1,0	7,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp20c8d2	25	20	1,0	7,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp20c8d3	50	20	1,0	7,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
Sp20c8d4	100	20	1,0	7,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	23,2	0,60	0
S20c13d1	10	20	1,0	12,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
S20c13d2	25	20	1,0	12,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
S20c13d3	50	20	1,0	12,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
S20c13d4	100	20	1,0	12,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	28,2	0,60	0
S20c18d1	10	20	1,0	17,6	0,01	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
S20c18d2	25	20	1,0	17,6	0,025	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
S20c18d3	50	20	1,0	17,6	0,05	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
S20c18d4	100	20	1,0	17,6	0,10	15,6	5000	0,49	0	33,2	0,60	0
S20c27d1	10	20	1,0	26,9	0,01	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0

S20c27d2	25	20	1,0	26,9	0,025	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
S20c27d3	50	20	1,0	26,9	0,05	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0
S20c27d4	100	20	1,0	26,9	0,10	15,3	5000	0,49	0	42,2	0,60	0

Notação:

1. Arq. - Arquivo
2. Tensão Apl. - Tensão aplicada
3. B - Largura do radier
4. b - Diâmetro da estaca
5. L - Comprimento da estaca
6. e - Distância entre cabeça da estaca e radier
7. Dist. fr. rig. - Distância da ponta da estaca à fronteira rígida
8. Eo - Módulo de elasticidade do solo
9. Coef. Po - Coeficiente de Poisson
10. p - Taxa de crescimento do módulo de elasticidade com a profundidade
($E_f - E_o$)/zEo (m^{-1})
12. Z* - Profundidade a partir do nível do terreno do primeiro estrato
13. Esp. Rad. - Espessura do radier
14. E - Módulo de elasticidade do estrato mais rígido do solo

**APÊNDICE A.2 -ANÁLISE ELÁSTICO LINEAR
DOCOMPORTAMENTO DA ESTACA T
Resumo dos arquivos utilizados**

Arquivos utilizados na relação de B/b = 4

<i>Arq.</i>	<i>Tensão apl. (tf/m²)</i>	<i>B (m)</i>	<i>b (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>e (m)</i>	<i>Dist Fr.rg (m)</i>	<i>Eo (tf/m²)</i>	<i>Coef. Po.</i>	<i>p (m⁻¹)</i>	<i>Z (m)</i>	<i>Esp. Rad (m).</i>	<i>E= 2XEo (tf/m²)</i>
et4c3vp1	100.0	4.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et4c3vp2	100.0	4.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et4c3vp3	100.0	4.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et4c3vp4	100.0	4.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et4c3vp5	100.0	4.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et4c3vp6	100.0	4.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et4c3vp7	100.0	4.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et4c3vp8	100.0	4.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et4c3vp9	100.0	4.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et4c4vp1	100.0	4.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et4c4vp2	100.0	4.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et4c4vp3	100.0	4.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et4c4vp4	100.0	4.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et4c4vp5	100.0	4.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et4c4vp6	100.0	4.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et4c4vp7	100.0	4.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et4c4vp8	100.0	4.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et4c4vp9	100.0	4.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et4c5vp1	100.0	4.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et4c5vp2	100.0	4.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et4c5vp3	100.0	4.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et4c5vp4	100.0	4.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et4c5vp5	100.0	4.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et4c5vp6	100.0	4.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et4c5vp7	100.0	4.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et4c5vp8	100.0	4.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et4c5vp9	100.0	4.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et4c8vp1	100.0	4.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	23.2	0.60	-
et4c8vp2	100.0	4.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	23.2	0.60	-
et4c8vp3	100.0	4.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	23.2	0.6	-
et4c8vp4	100.0	4.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	23.2	0.60	-
et4c8vp5	100.0	4.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	23.2	0.60	-
et4c8vp6	100.0	4.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	23.2	0.60	-
et4c8vp7	100.0	4.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	23.2	0.60	-

et4c8vp8	100.0	4.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	23.2	0.60	-
et4c8vp9	100.0	4.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	23.2	0.60	-
et4c13v1	100.0	4.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	28.2	0.60	-
et4c13v2	100.0	4.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	28.2	0.60	-
et4c13v3	100.0	4.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	28.2	0.60	-
et4c13v4	100.0	4.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	28.2	0.60	-
et4c13v5	100.0	4.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	28.2	0.60	-
et4c13v6	100.0	4.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	28.2	0.60	-
et4c13v7	100.0	4.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	28.2	0.60	-
et4c13v8	100.0	4.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	28.2	0.60	-
et4c13v9	100.0	4.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	28.2	0.60	-
et4c18v1	100.0	4.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	33.2	0.60	-
et4c18v2	100.0	4.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	33.2	0.60	-
et4c18v3	100.0	4.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	33.2	0.60	-
et4c18v4	100.0	4.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	33.2	0.60	-
et4c18v5	100.0	4.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	33.2	0.60	-
et4c18v6	100.0	4.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	33.2	0.60	-
et4c18v7	100.0	4.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	33.2	0.60	-
et4c18v8	100.0	4.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	33.2	0.60	-
et4c18v9	100.0	4.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	33.2	0.60	-
et4c27v1	100.0	4.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0	42.2	0.60	-
et4c27v2	100.0	4.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.001	42.2	0.60	-
et4c27v3	100.0	4.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.002	42.2	0.60	-
et4c27v4	100.0	4.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.005	42.2	0.60	-
et4c27v5	100.0	4.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.01	42.2	0.60	-
et4c27v6	100.0	4.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.02	42.2	0.60	-
et4c27v7	100.0	4.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.05	42.2	0.60	-
et4c27v8	100.0	4.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.1	42.2	0.60	-
et4c27v9	100.0	4.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.2	42.2	0.60	-

Arquivos utilizados na relação de B/b = 6

Arq.	Tensão apl. (tf/m ²)	B (m)	b (m)	L (m)	e (m)	Dist fr.rg (m)	Eo (tf/m ²)	Coef. Po.	p (m ⁻¹)	Z (m)	Esp. Rad (m)	E= 2XEo (tf/m ²)
et6c3vp1	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et63vp2	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et6c3vp3	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et6c3vp4	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et6c3vp5	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et6c3vp6	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et6c3vp7	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et6c3vp8	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-

et6c3vp9	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et6c4vp1	100.0	6.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et6c4vp2	100.0	6.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et6c4vp3	100.0	6.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et6c4vp4	100.0	6.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et6c4vp5	100.0	6.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et6c4vp6	100.0	6.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et6c4vp7	100.0	6.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et6c4vp8	100.0	6.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et6c4vp9	100.0	6.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et6c5vp1	100.0	6.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et6c5vp2	100.0	6.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et6c5vp3	100.0	6.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et6c5vp4	100.0	6.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et6c5vp5	100.0	6.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et6c5vp6	100.0	6.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et6c5vp7	100.0	6.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et6c5vp8	100.0	6.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et6c5vp9	100.0	6.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et6c8vp1	100.0	6.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	23.2	0.60	-
et6c8vp2	100.0	6.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	23.2	0.60	-
et6c8vp3	100.0	6.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	23.2	0.6	-
et6c8vp4	100.0	6.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	23.2	0.60	-
et6c8vp5	100.0	6.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	23.2	0.60	-
et6c8vp6	100.0	6.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	23.2	0.60	-
et6c8vp7	100.0	6.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	23.2	0.60	-
et6c8vp8	100.0	6.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	23.2	0.60	-
et6c8vp9	100.0	6.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	23.2	0.60	-
et6c13v1	100.0	6.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	28.2	0.60	-
et6c13v2	100.0	6.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	28.2	0.60	-
et6c13v3	100.0	6.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	28.2	0.60	-
et6c13v4	100.0	6.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	28.2	0.60	-
et6c13v5	100.0	6.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	28.2	0.60	-
et6c13v6	100.0	6.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	28.2	0.60	-
et6c13v7	100.0	6.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	28.2	0.60	-
et6c13v8	100.0	6.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	28.2	0.60	-
et6c13v9	100.0	6.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	28.2	0.60	-
et6c18v1	100.0	6.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	33.2	0.60	-
et6c18v2	100.0	6.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	33.2	0.60	-
et6c18v3	100.0	6.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	33.2	0.60	-

et6c18v4	100.0	6.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	33.2	0.60	-
et6c18v5	100.0	6.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	33.2	0.60	-
et6c18v6	100.0	6.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	33.2	0.60	-
et6c18v7	100.0	6.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	33.2	0.60	-
et6c18v8	100.0	6.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	33.2	0.60	-
et6c18v9	100.0	6.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	33.2	0.60	-
et6c27v1	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0	42.2	0.60	-
et6c27v2	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.001	42.2	0.60	-
et6c27v3	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.002	42.2	0.60	-
et6c27v4	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.005	42.2	0.60	-
et6c27v5	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.01	42.2	0.60	-
et6c27v6	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.02	42.2	0.60	-
et6c27v7	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.05	42.2	0.60	-
et6c27v8	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.1	42.2	0.60	-
et6c27v9	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.2	42.2	0.60	-

Arquivos utilizados na relação de B/b = 10

Arq.	Tensão apl. (tf/m ²)	B (m)	b (m)	L (m)	e (m)	Dist fr.rg (m)	Eo (tf/m ²)	Coef. Po.	p (m ⁻¹)	Z (m)	Esp. Rad (m).	E-2XEo (tf/m ²)
et10c3v1	100.0	10.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et10c3v2	100.0	10.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et10c3v3	100.0	10.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et10c3v4	100.0	10.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et10c3v5	100.0	10.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et10c3v6	100.0	10.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et10c3v7	100.0	10.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et10c3v8	100.0	10.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et10c3v9	100.0	10.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et10c4v1	100.0	10.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et10c4v2	100.0	10.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et10c4v3	100.0	10.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et10c4v4	100.0	10.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et10c4v5	100.0	10.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et10c4v6	100.0	10.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et10c4v7	100.0	10.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et10c4v8	100.0	10.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et10c4v9	100.0	10.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et10c5v1	100.0	10.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et10c5v2	100.0	10.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et10c5v3	100.0	10.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et10c5v4	100.0	10.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-

et10c5v5	100.0	10.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et10c5v6	100.0	10.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et10c5v7	100.0	10.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et10c5v8	100.0	10.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et10c5v9	100.0	10.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et10c8v1	100.0	10.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	23.2	0.60	-
et10c8v2	100.0	10.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	23.2	0.60	-
et10c8v3	100.0	10.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	23.2	0.6	-
et10c8v4	100.0	10.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	23.2	0.60	-
et10c8v5	100.0	10.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	23.2	0.60	-
et10c8v6	100.0	10.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	23.2	0.60	-
et10c8v7	100.0	10.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	23.2	0.60	-
et10c8v8	100.0	10.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	23.2	0.60	-
et10c8v9	100.0	10.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	23.2	0.60	-
t10c13v1	100.0	10.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	28.2	0.60	-
t10c13v2	100.0	10.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	28.2	0.60	-
t10c13v3	100.0	10.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	28.2	0.60	-
t10c13v4	100.0	10.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	28.2	0.60	-
t10c13v5	100.0	10.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	28.2	0.60	-
t10c13v6	100.0	10.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	28.2	0.60	-
t10c13v7	100.0	10.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	28.2	0.60	-
t10c13v8	100.0	10.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	28.2	0.60	-
t10c13v9	100.0	10.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	28.2	0.60	-
t10c18v1	100.0	10.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	33.2	0.60	-
t10c18v2	100.0	10.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	33.2	0.60	-
t10c18v3	100.0	10.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	33.2	0.60	-
t10c18v4	100.0	10.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	33.2	0.60	-
t10c18v5	100.0	10.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	33.2	0.60	-
t10c18v6	100.0	10.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	33.2	0.60	-
t10c18v7	100.0	10.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	33.2	0.60	-
t10c18v8	100.0	10.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	33.2	0.60	-
t10c18v9	100.0	10.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	33.2	0.60	-
t10c27v1	100.0	10.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0	42.2	0.60	-
t10c27v2	100.0	10.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.001	42.2	0.60	-
t10c27v3	100.0	10.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.002	42.2	0.60	-
t10c27v4	100.0	10.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.005	42.2	0.60	-
t10c27v5	100.0	10.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.01	42.2	0.60	-
t10c27v6	100.0	10.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.02	42.2	0.60	-
t10c27v7	100.0	10.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.05	42.2	0.60	-
t10c27v8	100.0	10.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.1	42.2	0.60	-

t10c27v9	100.0	10.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.2	42.2	0.60	-
Arquivos utilizados na relação de B/b = 20												
Arq.	Tensão apl. (tf/m ²)	B (m)	b (m)	L (m)	e (m)	Dist fr.rg (m)	Eo (tf/m ²)	Coef. Po.	p (m ⁻¹)	Z (m)	Esp. Rad (m).	E= 2XEo (tf/m ²)
et20c3v1	100.0	20.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et20c3v2	100.0	20.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et20c3v3	100.0	20.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et20c3v4	100.0	20.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et20c3v5	100.0	20.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et20c3v6	100.0	20.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et20c3v7	100.0	20.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et20c3v8	100.0	20.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et20c3v9	100.0	20.0	1.0	3.2	0.0	18.0	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et20c4v1	100.0	20.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et20c4v2	100.0	20.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et20c4v3	100.0	20.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et20c4v4	100.0	20.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et20c4v5	100.0	20.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et20c4v6	100.0	20.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et20c4v7	100.0	20.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et20c4v8	100.0	20.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et20c4v9	100.0	20.0	1.0	4.2	0.0	17.0	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et20c5v1	100.0	20.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	21.2	0.60	-
et20c5v2	100.0	20.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	21.2	0.60	-
et20c5v3	100.0	20.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	21.2	0.60	-
et20c5v4	100.0	20.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	21.2	0.60	-
et20c5v5	100.0	20.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	21.2	0.60	-
et20c5v6	100.0	20.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	21.2	0.60	-
et20c5v7	100.0	20.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	21.2	0.60	-
et20c5v8	100.0	20.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	21.2	0.60	-
et20c5v9	100.0	20.0	1.0	5.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	21.2	0.60	-
et20c8v1	100.0	20.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	23.2	0.60	-
et20c8v2	100.0	20.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	23.2	0.60	-
et20c8v3	100.0	20.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	23.2	0.6	-
et20c8v4	100.0	20.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	23.2	0.60	-
et20c8v5	100.0	20.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	23.2	0.60	-
et20c8v6	100.0	20.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	23.2	0.60	-
et20c8v7	100.0	20.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	23.2	0.60	-
et20c8v8	100.0	20.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	23.2	0.60	-
et20c8v9	100.0	20.0	1.0	7.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	23.2	0.60	-

t20c13v1	100.0	20.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	28.2	0.60	-
t20c13v2	100.0	20.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	28.2	0.60	-
t20c13v3	100.0	20.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	28.2	0.60	-
t20c13v4	100.0	20.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	28.2	0.60	-
t20c13v5	100.0	20.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	28.2	0.60	-
t20c13v6	100.0	20.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	28.2	0.60	-
t20c13v7	100.0	20.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	28.2	0.60	-
t20c13v8	100.0	20.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	28.2	0.60	-
t20c13v9	100.0	20.0	1.0	12.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	28.2	0.60	-
t20c18v1	100.0	20.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0	33.2	0.60	-
t20c18v2	100.0	20.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.001	33.2	0.60	-
t20c18v3	100.0	20.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.002	33.2	0.60	-
t20c18v4	100.0	20.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.005	33.2	0.60	-
t20c18v5	100.0	20.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.01	33.2	0.60	-
t20c18v6	100.0	20.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.02	33.2	0.60	-
t20c18v7	100.0	20.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.05	33.2	0.60	-
t20c18v8	100.0	20.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.1	33.2	0.60	-
t20c18v9	100.0	20.0	1.0	17.6	0.0	15.6	5000	0.49	0.2	33.2	0.60	-
t20c27v1	100.0	20.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0	42.2	0.60	-
t20c27v2	100.0	20.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.001	42.2	0.60	-
t20c27v3	100.0	20.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.002	42.2	0.60	-
t20c27v4	100.0	20.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.005	42.2	0.60	-
t20c27v5	100.0	20.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.01	42.2	0.60	-
t20c27v6	100.0	20.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.02	42.2	0.60	-
t20c27v7	100.0	20.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.05	42.2	0.60	-
t20c27v8	100.0	20.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.1	42.2	0.60	-
t20c27v9	100.0	20.0	1.0	26.9	0.0	15.3	5000	0.49	0.2	42.2	0.60	-

Notação:

1. Arq. - Arquivo
2. Tensão Apl. - Tensão aplicada
3. B - Largura do radier
4. b - Diâmetro da estaca
5. L - Comprimento da estaca
6. e - Distância entre cabeça da estaca e radier
7. Dist. fr. rig. - Distância da ponta da estaca à fronteira rígida
8. Eo - Módulo de elasticidade do solo
9. Coef. Po - Coeficiente de Poisson
10. p - Taxa de crescimento do módulo de elasticidade com a profundidade
(E_f - E_o)/zE_o (m⁻¹)
12. Z - Espessura da camada de solo
13. Esp. Rad. - Espessura do radier
14. E - Módulo de elasticidade do estrato mais rígido do solo

APÊNDICE A.3

Arquivos utilizados na obtenção do gráfico de redução de recalques

Influência da proximidade do bulbo da sapata

Arq.	Tensão apl. (tf/m ²)	B (m)	b (m)	L (m)	e (m)	Dist fr.rg (m)	Eo (tf/m ²)	Coef. Po.	p (m ⁻¹)	Z (m)	Esp. Rad (m).	E (tf/m ²)
et6c3I1	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	11.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	4.2E10 ⁶
et6c3I2	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	6.5	5000	0.49	0	21.2	0.60	4.2E10 ⁶
et6c3I3	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	4.1	5000	0.49	0	21.2	0.60	4.2E10 ⁶
et6c3I4	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	3.1	5000	0.49	0	21.2	0.60	4.2E10 ⁶
et6c3I5	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	2.7	5000	0.49	0	21.2	0.60	4.2E10 ⁶
et6c3I6	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	2.4	5000	0.49	0	21.2	0.60	4.2E10 ⁶
et6c3I7	100.0	6.0	1.0	3.2	0.0	1.0	5000	0.49	0	21.2	0.60	4.2E10 ⁶

Influência da proximidade do bulbo da estaca

Arq.	Tensão apl. (tf/m ²)	B (m)	b (m)	L (m)	e (m)	Dist fr.rg (m)	Eo (tf/m ²)	Coef. Po.	p (m ⁻¹)	Z (m)	Esp. Rad (m).	E (tf/m ²)
et6c27I1	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	8.3	5000	0.49	0	42.2	0.60	4.2E10 ⁶
et6c27I2	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	3.8	5000	0.49	0	42.2	0.60	4.2E10 ⁶
et6c27I3	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	1.4	5000	0.49	0	42.2	0.60	4.2E10 ⁶
et6c27I4	100.0	6.0	1.0	26.9	0.0	0.40	5000	0.49	0	42.2	0.60	4.2E10 ⁶

APÊNDICE A.4

Arquivos utilizados no estudo elástico não linear da Estaca T

Influência do comprimento da estaca

Arq.	Carga apl. (kN)	B (m)	b (m)	L (m)	e (m)	Eo (kN/m ²)	Coef. Po.	p (m ⁻¹)	Esp. Rad (m).	E (kN/m ²)
Sapata	48695,0	10,0	1,0	0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc1	52543,9	10,0	1,0	10,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc2	55685,9	10,0	1,0	20,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc3	58827,9	10,0	1,0	30,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc4	61969,9	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc5	65111,9	10,0	1,0	50,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc6	68253,9	10,0	1,0	60,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc7	71395,9	10,0	1,0	70,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc8	74537,9	10,0	1,0	80,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc9	77679,0	10,0	1,0	90,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenlc1	80821,9	10,0	1,0	100,0	0	50000	0,49	0	0,60	

Influência da taxa de crescimento da resistência não drenada

Arq.	Carga apl. (kN)	B (m)	b (m)	L (m)	e (m)	Eo (kN/m ²)	Coef. Po.	p (m ⁻¹)	Esp. Rad (m).	E (kN/m ²)
Etenle1	6196,99	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenle2	6224,94	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenle3	6252,89	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenle4	6336,73	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenle5	6476,47	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenle6	6755,95	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenle7	7594,39	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenle8	8991,79	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	
Etenle9	11786,59	10,0	1,0	40,0	0	50000	0,49	0	0,60	