



Alexander Zhemchuzhnikov

**Análise comparativa dos diversos métodos de previsão do
recalque de grupo de estacas em meios homogêneos**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil do Departamento de
Engenharia Civil da PUC - Rio.

Orientador: Prof. Pedricto Rocha Filho

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2011



Alexander Zhemchuzhnikov

Análise comparativa dos diversos métodos de previsão do recalque de grupo de estacas em meios homogêneos

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC - Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Pedricto Rocha Filho

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof^a. Michéle Dal Toé Casagrande

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC - Rio

Rio de Janeiro, 24 de fevereiro de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Alexander Zhemchuzhnikov

Graduou-se em Engenharia de Minas pela Universidade de Amizade dos Povos, Moscou, em 2008. Ingressou no mestrado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2009, desenvolvendo dissertação na linha de pesquisa de Geotecnia experimental.

Ficha Catalográfica

Zhemchuzhnikov, Alexander

Análise comparativa dos diversos métodos da previsão do recalque de grupo de estacas em meios homogêneos/ Alexander Zhemchuzhnikov; orientador: Pedricto Rocha Filho. – 2011,

129 f. il; 29,7 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro, 2011
natureza da ficha catalográfica

Incluí referências bibliográficas.

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Estaca 3. Grupo de estacas 4. Recalque 5. Fator de interação I. Pedricto Rocha Filho II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. III. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Aos meus páis, que sempre me ajudaram e apoiaram nas minhas decisões.

Ao meu orientador, professor Pedricto Rocha Filho, pelo conhecimento transferido, pela paciência e confiança depositada.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Aos professores da banca Celso Romanel e Michéle Dal Toé Casagrande pelos comentários e correções valiosas.

À Rita pela ajuda nos inúmeros trâmites.

À minha namorada Vanessa pelo carinho e inspiração.

Aos meus amigos e colegas pelo companherismo e por nunca me deixarem sozinho nos momentos difíceis.

Resumo

Zhemchuzhnikov, Alexandr; Rocha Filho, Pedricto. **Análise comparativa dos diversos métodos da previsão do recalque de grupo de estacas em meios homogêneos.** Rio de Janeiro, 2011. 129 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo desta dissertação foi proceder a uma avaliação e uma análise comparativa entre os diversos métodos empregados no cálculo do recalque de grupo de estacas. Dentro desta abordagem, foi realizada uma revisão considerando os métodos empíricos; semi-empíricos; teóricos baseados na teoria da elasticidade e elementos de contorno proposto por Poulos e Davis, das camadas finitas, apresentados por Southcott e Small, o método das estacas fictícias, desenvolvido pro Ming e Long-Zhu e finalmente o método baseado na aproximação de Winkler proposto por Mylonakis e Gazetas. Em seguida, procurou-se analisar os resultados oriundos de provas de carga abrangentemente instrumentadas (Cooke e Price), no sentido de melhor visualizar e quantificar o campo de deformação entre estacas e, conseqüentemente, definir o mecanismo de interação entre as estacas de um mesmo grupo. Através destas análises conjuntas, foi constatado que a aplicação do modelo de cilindros concêntricos é aceitável para representar o campo de deformações em torno de uma estaca isolada. Implicando que o recalque de grupos constituídos de poucas e curtas estacas pode ser obtido através da superposição dos deslocamentos causados por uma estaca isolada. Confirmando, para estes casos, a validação da aplicabilidade dos métodos baseados na teoria da elasticidade. No caso de grupos maiores e constituídos por estacas com índices de esbeltez médios e longos, verificou-se que a hipótese de superposição dos resultados do campo de deformação produzidos por uma estaca isolada pode superestimar a previsão do recalque do grupo. Para compensar este erro, alguns autores recomendam a adoção de uma majoração dos módulos de elasticidade das camadas de solo. Este tipo de proposição tem recebido muitas críticas e alguns autores têm sugerido outros distintos procedimentos, que levam em consideração a interação conjunta estaca solo.

Palavras-chave

Estaca; Grupo de estacas; Recalque; Fator de interação.

Abstract

Zhemchuzhnikov, Alexander; Rocha Filho, Pedricto. **Comparative analysis of different methods of settlement prediction of pile group in homogeneous half space**. Rio de Janeiro, 2011. 129 p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present dissertation's objective is to provide a comparative analysis of different methods used for pile group settlement prediction. Firstly, a literature review was made, considering empirical, semi-empirical and theoretical methods, including Boundary Element Method proposed by Poulos, finite layer method, developed by Southcott and Small, fictitious piles proposal, described by Ming and Long-Zhu and Winkler approximation based method by Mylonakis and Gazetas. Then, the results of instrumented pile load tests provided by Cooke and Price were analyzed. The deformation field around a loaded pile was examined and the interaction mechanism between the piles within a group defined. As a result of this analysis, the concentric cylinder model was considered acceptable for displacement field representing. Also, it was found that small pile group settlement could be obtained using a superposition of the displacements caused by one loaded pile. In case of large pile groups, especially consisting of long piles, the interaction factor superposition method is not directly applicable, causing settlement superestimation. To compensate this effect, an increase of elastic moduli of soil has been used by various authors. As the proposals of this type have been criticized, other proceedings that account for complex pile - soil interaction have been created.

Keywords

Pile; Pile Group; Settlement; Interaction factor.

Sumário

Lista de figuras	11
Lista de tabelas	16
Lista de Símbolos	17
1 Introdução	22
1.1. Relevância e Objetivos da Pesquisa	22
1.2. Organização do Trabalho	23
2 Métodos de análise de recalque de grupos de estacas	24
2.1. Introdução	24
2.2. Métodos empíricos	24
2.3. Métodos teóricos	30
2.3.1. Método dos elementos de contorno	30
2.3.1.1. Análise para estacas flutuantes	30
2.3.1.1.1. Efeito do estrato da espessura finita	34
2.3.1.1.2. Efeito do alargamento da base da estaca	35
2.3.1.1.3. Efeito do coeficiente de Poisson	36
2.3.1.2. Fator de interação para grupo de duas estacas idênticas de ponta	37
2.3.1.3. Análise para duas estacas de diâmetros diferentes	39
2.3.1.4. Fator de interação modificado	40
2.3.1.5. Análise de grupo de estacas genérico	42
2.3.1.6. Efeito da compressibilidade da camada subjacente	44
2.3.1.7. Método teórico de obtenção do índice de recalque para o cálculo do recalque de grupos de estacas	45
2.3.1.7.1. Efeito da espessura do estrato do solo	46
2.3.1.7.2. Efeito da compressibilidade da camada subjacente	47
2.3.1.7.3. Efeito do coeficiente de Poisson	48

2.3.2. Análise através do método de camadas finitas	49
2.3.3. Método de estacas fictícias	52
2.3.4. Método baseado na aproximação de Winkler	55
2.3.4.1. Interação entre duas estacas	57
2.3.4.2. Interação entre as bases das estacas	60
2.3.4.3. Fator de interação para solo estratificado	62
2.3.4.4. Análise para grupo de estacas	63
2.3.4.5. Forças adicionais internas no grupo de estacas	63
3 Avaliação do campo de deformações em torno de uma estaca	66
3.1. Métodos teóricos	66
3.1.1. Método baseado nas funções de transferência de carga	66
3.1.2. Método baseado na teoria da elasticidade linear	69
3.1.2.1. Método proposto por POULOS (1968)	69
3.1.3. Modelo de cilindros concêntricos	75
3.1.3.1. Intrusão rígida em um semi-espaço homogêneo.	75
3.1.3.2. Análise para a base da estaca	79
3.1.3.3. Efeito da compressibilidade da estaca	79
3.2. Provas de carga em estacas instrumentadas	84
3.2.1. Mobilização das forças na base da estaca	84
3.2.2. Mobilização do atrito no fuste da estaca	85
3.2.3. Medição dos deslocamentos em torno da estaca instrumentada	87
3.2.4. Recalque da estaca e a resistência do fuste	89
4 Avaliação do comportamento de grupos de estacas	91
4.1. Considerações sobre diversos fatores de interação	91
4.1.1. Proposta baseada nos elementos de contorno - análise linear elástica.	91
4.1.1.1. A influência da aplicação do fator de interação somente à componente elástica do recalque	96
4.1.1.2. Limitações do método	97
4.1.2. Método de superposição	98
4.1.2.1. Provas de carga em grupos de estacas	99
4.1.2.2. Observações e previsões para grupos simples	100

4.1.2.3. Avaliação para o projeto de grupo de estacas	102
4.1.2.4. Fator de interação e o índice de recalque	103
4.1.2.5. Limitações do método	106
4.1.3. Método analítico baseado na aproximação de Winkler	106
4.1.4. Método de estacas fictícias	110
4.1.5. Método de camadas finitas	112
4.1.6. Comparação entre os fatores de interação obtidos por diversos autores	112
4.2. Considerações sobre o cálculo do recalque de grupo através do índice de recalque	115
4.3. A importância da avaliação dos parâmetros geotécnicos	118
5 Conclusões e sugestões	124
Referências bibliográficas	126

Lista de figuras

Figura 2.1 - O esquema da fundação equivalente. (TERZAGHI & PECK, 1967)	26
Figura 2.2 - A distribuição de pressão abaixo da sapata equivalente. (CHENEY & CHASSIE, 1993)	28
Figura 2.4 - Fator de interação vs. espaçamento relativo, $L/d = 10$, $\nu = 0,5$. (POULOS & DAVIS, 1980)	32
Figura 2.5 - Fator de interação vs. espaçamento relativo, $L/d = 25$, $\nu = 0,5$. (POULOS & DAVIS, 1980)	32
Figura 2.6 - Fator de interação vs. espaçamento relativo, $L/d = 50$, $\nu = 0,5$. (POULOS & DAVIS, 1980)	32
Figura 2.7 - Os fatores de correção devido à espessura finita da camada. (POULOS & DAVIS, 1980)	35
Figura 2.8 - O fator de correção devido a alargamento da base. (POULOS & DAVIS, 1980)	36
Figura 2.9 - Coeficiente de correção devido ao efeito do coeficiente de Poisson. (POULOS & DAVIS, 1980)	37
Figura 2.10 - Fator de interação para estacas de ponta para $L/d = 25$. (POULOS & DAVIS, 1980)	38
Figura 2.11 - Fator de redução de interação para estacas de ponta. (POULOS & DAVIS, 1980)	38
Figura 2.12 - Grupo de duas estacas de diâmetros diferentes.	40
Figura 2.13 - A distribuição do módulo de elasticidade no maciço de solo proposta por POULOS (1988).	41
Figura 2.14 - Coeficiente de redução devido ao efeito da espessura do estrato do solo. (POULOS & DAVIS, 1980)	47
Figura 2.15 - Coeficiente de redução para o efeito da camada carregada. (POULOS & DAVIS, 1980)	48
Figura 2.16 - Modelo do sistema solo-estaca usado no método de camadas	

finitas. (SOUTHCOTT & SMALL, 1995)	49
Figura 2.17 - O fator de interação vs. espaçamento relativo, $L/d = 25$. Comparação com os resultados de EL SHARNOUBY & NOVAK (1990) e de POULOS (1968). (SOUTHCOTT & SMALL, 1995)	50
Figura 2.18 - O fator de interação vs. espaçamento relativo, $L/d = 50$. Comparação com os resultados de EL SHARNOUBY & NOVAK (1990) e de POULOS (1968). (SOUTHCOTT & SMALL, 1995)	51
Figura 2.19 - O fator de interação vs. espaçamento relativo, $L/d = 100$. Comparação com os resultados de EL SHARNOUBY & NOVAK (1990) e de POULOS (1968). (SOUTHCOTT & SMALL, 1995)	51
Figura 2.20 - Os fatores de interação para cinco estacas de ponta comparação entre os resultados do método de camadas finitas e de EL SHARNOUBY & NOVAK (1990). (SOUTHCOTT & SMALL, 1995)	52
Figura 2.21 - Modelo de grupo de duas estacas. (MING & LONG-ZHU, 2008)	53
Figura 2.22 - A influência do número de elementos no valor do fator de interação. (MING & LONG-ZHU, 2008)	54
Figura 2.23 - Os fatores de interação vs. espaçamento relativo para $L/d = 40, 50$ e 60 . (MING & LONG-ZHU, 2008)	54
Figura 2.24 - Modelo de a) um grupo de estacas no solo estratificado b) transferência de carga ao longo da estaca. (MYLONAKIS & GAZETAS, 1998)	57
Figura 2.25 - Modelo proposto para o cálculo da influência de uma estaca carregada na estaca vizinha. (MYLONAKIS & GAZETAS, 1998)	59
Figura 2.26 - Os fatores de interação para estacas flutuantes para diferentes índices de esbeltez, $E_p/E_s = 1000$, $\nu_s = 0.5$. Comparação com os resultados de POULOS & DAVIS (1980). (MYLONAKIS & GAZETAS, 1998)	61
Figura 2.27 - Os fatores de interação para estacas flutuantes para diferentes razões de E_p/E_s , $L/d = 25$, $\nu_s = 0.5$. Comparação com os resultados de POULOS & DAVIS (1980). (MYLONAKIS & GAZETAS, 1998)	62
Figura 2.28 - Esquema do mecanismo que impõe as forças adicionais na estaca receptora. (MYLONAKIS & GAZETAS, 1998)	64

Figura 2.29 - A distribuição da força axial ao longo das estacas do centro e do canto de um grupo 3 x 3 no solo homogêneo para várias condições de contorno, $E_p/E_s = 1000$, $L/d = 20$, $\nu_s = 0,5$, $s/d = 5$. (MYLONAKIS & GAZETAS, 1998)	65
Figura 3.1 - Curva típica de transferência de carga proposta por COYLE & REESE (1966). (apud POULOS & DAVIS, 1980)	66
Figura 3.2 - Análise da transferência de carga, proposta por COYLE & REESE (1966). (apud POULOS & DAVIS, 1980).	67
Figura 3.3 - O esquema de transferência de carga ao longo de um elemento da estaca.	69
Figura 3.4 - Análise para uma estaca flutuante. (POULOS & DAVIS, 1980)	70
Figura 3.5 - Modelo de deformação para o fuste da estaca (cisalhamento simples de cilindros concêntricos).	75
Figura 3.6 - Esquema de tensões em um elemento de solo.	76
Figura 3.7 - Variação do K com o índice de esbeltez e o coeficiente de Poisson. (ROCHA FILHO & FRANK, 1987)	78
Figura 3.8 - O esquema do carregamento da estaca, convenção de sinais e notação.	80
Figura 3.9 - O esquema do carregamento de um elemento da estaca.	80
Figura 3.10 - Esquema idealizado de uma seção vertical do solo deslocado por um elemento da estaca. (COOKE, 1974)	86
Figura 3.11 - Deslocamentos do solo e do fuste da estaca plotados contra $\log_e(2r/d)$ para a faixa dos carregamentos aplicados. (COOKE, 1974)	88
Figura 4.1 - Fator de interação contra o índice de esbeltez para diferentes valores da rigidez relativa e do espaçamento.	92
Figura 4.2 - Fator de interação contra o índice de esbeltez para diferentes valores do espaçamento e da rigidez relativa.	93
Figura 4.3 - Fator de interação contra rigidez relativa para diferentes valores do espaçamento e do índice de esbeltez.	94
Figura 4.4 - Fator de interação contra espaçamento para diferentes valores do índice de esbeltez, $K = 1000$.	95
Figura 4.5 - O efeito do princípio utilizado para a previsão do comportamento de um grupo de estacas. (POULOS, 2005)	97

Figura 4.6 - O método de superposição aplicado a duas estacas idênticas. Os perfis dos deslocamentos são iguais aos observados por COOKE & PRICE (1973).	99
Figura 4.7 - Deformações do solo observadas e previstas para um grupo de três estacas sob condição de a) carga igual b) recalque igual. (COOKE et al., 1979)	101
Figura 4.8 - Desenvolvimento das superfícies dos deslocamentos para uma fila de cinco estacas carregadas através de um a) bloco flexível b) bloco rígido. (COOKE et al., 1979)	102
Figura 4.9 - Valores observados dos fatores de interação Ω_2 e Ω_3 em comparação com as curvas teóricas publicadas. (COOKE et al., 1979).	104
Figura 4.10 - Proposta da curva de fator de interação vs. espaçamento. (COOKE et al., 1979)	105
Figura 4.11 - Rigidez normalizada da estaca compressível em uma camada de solo para diferentes valores da rigidez da base adimensional Ω . (MYLONAKIS & GAZETAS, 1998)	108
Figura 4.12 - Fator normalizado de interação entre fustes para estacas em uma camada de solo para diferentes valores da rigidez adimensional da base Ω . (MYLONAKIS & GAZETAS, 1998)	109
Figura 4.13 - Os fatores de interação obtidos através do método de estacas fictícias em comparação com os obtidos por [22] EL SHARNOUBY & NOVAK (1990); [21] POULOS & MATTES (1971); [23] SOUTHCOTT & SMALL (1996). (MING & LONG-ZHU, 2008)	111
Figura 4.14 - Os fatores de interação obtidos por diferentes autores, $K = 1000$, $L/d = 50$.	113
Figura 4.15 - Os fatores de interação obtidos por diferentes autores, $K = 100$, $L/d = 50$.	114
Figura 4.16 - Comparação dos fatores de interação obtidos pelo programa computacional AGRE e resultados publicados por POULOS (1968), EL SHARNOUBY & NOVAK (1990) e SOUTHCOTT & SMALL (1995). (RIBEIRO BACELAR, 1999).	115
Figura 4.17 - Os recalques previstos e medidos o longo da extremidade	

do silo. (POULOS, 1998)	116
Figura 4.18 - Índice de recalque vs. o espaçamento entre as estacas para grupos de estacas quadrados pequenos e de grupos de dimensões grandes de qualquer configuração. (COOKE, 1974)	117
Figura 4.19 - Comportamento tempo-recalque previsto e observado da torre Hotel. (POULOS, 2005)	121
Figura 4.20 - Fatores de interação em dependência do espaçamento relativo para diferentes casos analisados. (POULOS, 2005)	122

Lista de tabelas

Tabela 4.1 - Valores das cargas e recalques nas estacas, condição do bloco rígido.	101
Tabela 4.2 - Os valores das cargas e recalques nas estacas e o fator de interação, condição do bloco rígido.	104
Tabela 4.3 - Modelo geotécnico para as torres de Emirados.	119
Tabela 4.4 - Os casos considerados na análise de sensibilidade dos fatores de interação.	122
Tabela 4.5 - Resultados da análise de sensibilidade.	123

Lista de Símbolos

Romanos

A_l	Coeficiente dependente da razão L/d
A_b	Coeficiente dependente da razão entre os módulos de elasticidade do solo ao longo do fuste e debaixo da ponta da estaca
A_k	Coeficiente dependente da razão entre a rigidez do solo e da estaca
A_p	Área da seção transversal sólida da estaca
B	Largura de grupo de estacas
B_l	Coeficiente dependente da razão L/d
B_b	Coeficiente dependente da razão entre os módulos de elasticidade do solo ao longo do fuste e debaixo da ponta da estaca
B_k	Coeficiente dependente da razão entre a rigidez do solo e da estaca
C_c	Coeficiente de adensamento
C_{cr}	Coeficiente de recompressão
d	Diâmetro da estaca
d_b	Diâmetro da base da estaca
D_e	Profundidade de embutimento da fundação
E	Módulo de elasticidade
E_b	Módulo de elasticidade do solo abaixo da ponta das estacas
E_p	Módulo de elasticidade da estaca
E_s	Modulo de elasticidade do solo próximo à estaca
E_{sav}	Valor médio do módulo de elasticidade do solo
E_{sk}	Módulo da elasticidade da camada k
E_{sm}	Modulo de elasticidade do solo entre as estacas

F_E	Fator de redução de interação para estacas de ponta
f_s	Tensão transferida pelo elemento da superfície do fuste
G	Módulo de cisalhamento
h	Espessura de estrato de solo
h_b	Profundidade até a camada do solo rígida
I_{ib}	Fator de influência do deslocamento vertical do solo no elemento i devido à tensão normal atuante na base da estaca
I_{ij}	Fator de influência do deslocamento vertical do elemento i devido às tensões cisalhantes atuantes no elemento j
I_k	Coefficiente de influência dos fatores de recalque em relação ao eixo do tubulão equivalente, no nível da camada k
k	Constante de mola de Winkler
K	Rigidez relativa da estaca
L	Comprimento da estaca
L_{eq}	Comprimento do tubulão equivalente
N	Numero de golpes de SPT
N_c	Fator de capacidade de suporte na base da estaca
N_{db}	Fator de correção devido a alargamento da base da estaca
N_h	Fator de correção devido à espessura finita da camada
N_v	Fator de correção devido ao efeito do coeficiente de Poisson
P_b	A reação da ponta da estaca
P_G	Carga total aplicada ao grupo de estacas
P_j	Carga na estaca j
P_{med}	Carga média do grupo
q_c	Resistência média da ponta de cone (ensaio CPT)
q_u	Capacidade de suporte última
R_{16}	Valor do índice de recalque R_s para um grupo de 16 estacas
R_{25}	Valor do índice de recalque R_s para um grupo de 25 estacas
R_A	Razão da área da estaca
R_s^b	Índice de recalque de um grupo de estacas de ponta
R_f	Fator hiperbólico
R_G	Fator de redução do recalque
r_m	Raio da influência da estaca

R_s	Índice de recalque
S_{le}	Flexibilidade elástica da estaca
v	Deslocamento da estaca
v_s	Deslocamento do solo
w_b	Deslocamento da base da estaca
w_t	Deslocamento da superfície

Gregos

α	Fator de interação
$\alpha_{0,5}$	Fator de interação para $\nu = 0.5$
α_E	Fator de interação para estacas de ponta
α_F	Fator de interação para estacas flutuantes no espaço semi-infinito
α_{ij}	Fator de interação dependente do espaçamento relativo s/d entre as estacas i e j
β	Coefficiente de embutimento
γ	Deformação cisalhante do solo
δ	Parâmetro de discretização da estaca
ε	Deformação específica
ζ	Fator de difração
λ	Índice de esbeltez da estaca
μ	A razão entre o módulo de elasticidade do solo próximo às estacas e entre as estacas
ν	Coefficiente de Poisson
ν_s	Coefficiente de Poisson do solo
ξ	Coefficiente de redução devido ao efeito da espessura do estrato do solo
ξ_b	Coefficiente de redução para o efeito da camada carregada
ξ_ν	Coefficiente de redução devido ao coeficiente de Poisson
ρ_1	Recalque de estaca isolada
ρ_{1med}	Recalque de uma estaca isolada com a mesma carga média do grupo
ρ_{1tot}	Recalque de uma estaca isolada com a mesma carga total do grupo
ρ_b	Recalque da base da estaca
ρ_G	Recalque de grupo de estacas
$\Delta\rho_{ij}$	Acréscimo de recalque da estaca i
${}_s\rho_{ij}$	Deslocamento vertical do solo no elemento i devido à tensão cisalhante atuante no elemento j
ρ_j	Recalque da estaca j devido ao seu próprio carregamento

ρ_{med}	Recalque médio do grupo
σ	Tensão normal
σ_i	Tensão normal no elemento i da estaca
τ	Tensão cisalhante
τ_0	Cisalhamento no fuste da estaca
$\chi_{1,2}$	Fator empírico de não homogeneidade do solo
ψ	Função de atenuação do deslocamento do solo
Ω	Rigidez adimensional da base da estaca