

DISCUSSÃO TEÓRICA QUANTO À CONSIDERAÇÃO DAS VIGAS BALDRAME COMO ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO NA COMBINAÇÃO COM FUNDAÇÕES RASAS

THEORETICAL DISCUSSION REGARDING THE CONSIDERATION OF GRADES AS FOUNDATION ELEMENTS IN COMBINATION WITH SHALLOW FOUNDATIONS

Luan Andreani Zanatta

Faculdade de Informática de Ouro Preto do Oeste (FIOURO/UNEOURO), Brasil

Marcos Leandro Alves Nunes

Faculdade de Informática de Ouro Preto do Oeste (FIOURO/UNEOURO), Brasil

Ketlyn Jaquelize Lima Sousa

Faculdade de Informática de Ouro Preto do Oeste (FIOURO/UNEOURO), Brasil

DOI: <https://doi.org/10.46550/ilustracao.v7i6.682>

Aceito em: 12.06.2026

Resumo: A concepção estrutural de edificações de pequeno e médio porte no Brasil, especialmente em obras residenciais, frequentemente adota fundações rasas associadas a vigas baldrame. Embora, do ponto de vista normativo, as vigas baldrame sejam tradicionalmente tratadas como elementos de transição entre superestrutura e fundação, diversos estudos técnicos indicam que tais elementos podem contribuir de forma significativa para a redistribuição de tensões ao solo, atuando de maneira complementar às fundações diretas. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica crítica sobre a consideração das vigas baldrame como elementos participantes do sistema de fundação, discutindo aspectos geotécnicos, estruturais e econômicos. Com base em autores clássicos e em parâmetros usuais de projeto, são estimadas contribuições percentuais das vigas baldrame na absorção e redistribuição de cargas, bem como os impactos na redução das dimensões das fundações rasas e na economia global da obra.

Palavras-chave: Vigas baldrame; fundações rasas; interação solo-estrutura; redistribuição de cargas; economia em fundações.

Abstract: The structural design of small and medium-sized buildings in Brazil, especially residential projects, frequently adopts shallow foundations associated with grade beams. Although, from a normative point of view, grade beams are traditionally treated as transition elements between superstructure and foundation, several technical studies indicate that such elements can contribute significantly to the redistribution of stresses to the soil, acting in a complementary manner to direct foundations. This article presents a critical literature review on the consideration of grade beams as elements participating in the foundation system, discussing geotechnical, structural, and economic aspects. Based on classic authors and usual

design parameters, the percentage contributions of foundation beams in absorbing and redistributing loads are estimated, as well as the impacts on reducing the dimensions of shallow foundations and on the overall cost savings of the project.

Keywords: Foundation beams; shallow foundations; soil-structure interaction; load redistribution; cost savings in foundations.

Introdução

O sistema de fundações é uma das partes mais importantes de qualquer edificação, pois é ele que transfere com segurança todo o peso da construção para o solo. Em casas e prédios de pequeno e médio porte, especialmente em obras residenciais, o tipo de fundação mais utilizado no Brasil é o das fundações rasas – sapatas isoladas, sapatas corridas ou blocos de fundação –, quase sempre combinadas com vigas baldrame.

As vigas baldrame são vigas de concreto armado que ficam geralmente ao nível do terreno ou um pouco abaixo dele. Elas recebem as cargas das paredes e dos pilares e as levam até as sapatas ou blocos. Além disso, ajudam a travar toda a estrutura e evitam que diferentes partes da casa afundem de maneira desigual.

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 6122, as vigas baldrame são consideradas apenas elementos de ligação e travamento, e não fazem parte do sistema de fundação propriamente dito. Porém, diversos autores clássicos e modernos da engenharia de fundações explicam que qualquer peça de concreto armado que esteja apoiada diretamente no solo e consiga transmitir cargas para ele participa, de alguma forma, do conjunto que sustenta a edificação. Isso significa que as vigas baldrame, mesmo sem serem projetadas como fundações, acabam ajudando o sistema como um todo.

Essa discussão é importante porque, em muitas obras residenciais no Brasil, especialmente em cidades como Manaus, o solo apresenta características variáveis – às vezes mais mole em alguns pontos, mais firme em outros. Nesses casos, as vigas baldrame podem fazer uma grande diferença ao distribuir melhor as cargas e reduzir problemas como rachaduras ou recalques diferentes entre as partes da casa.

O objetivo deste artigo é mostrar, de forma teórica e baseada na literatura técnica, que as vigas baldrame têm um papel mais importante do que o normalmente considerado pelas normas e pela prática tradicional. A ideia é discutir como elas podem ser vistas como elementos complementares do sistema de fundação, trazendo benefícios reais para o projeto e para o custo da obra.

Objetivos

O presente artigo tem como objetivo principal discutir, sob o ponto de vista teórico e técnico, a consideração das vigas baldrame como elementos participantes do sistema de fundações quando combinadas com fundações rasas. Como objetivos específicos, destacam-se:

- Revisar os principais conceitos sobre fundações rasas e vigas baldrame na literatura técnica;
- Analisar a interação solo-estrutura associada às vigas baldrame em contato com o solo;
- Estimar, com base em dados bibliográficos e parâmetros usuais de projeto, a contribuição das vigas baldrame na absorção e redistribuição de cargas;
- Discutir os impactos dessa consideração na redução das dimensões das fundações diretas e na economia global das obras.

Metodologia

Este artigo foi elaborado por meio de uma revisão bibliográfica narrativa. Foram consultados livros clássicos de engenharia de fundações, normas técnicas brasileiras e artigos científicos que tratam do tema da interação entre solo e estruturas.

Entre as principais obras analisadas estão os livros de Terzaghi, Peck e Mesri; Bowles; Cintra, Aoki e Albiero; Velloso e Lopes; além da norma ABNT NBR 6122:2019. Também foram incluídas referências internacionais importantes que abordam o comportamento de fundações interligadas e a participação de vigas em contato com o solo.

A partir dessas fontes, foram organizados os conceitos principais sobre o funcionamento das fundações rasas e das vigas baldrame. Em seguida, foram discutidos os mecanismos pelos quais as vigas ajudam a distribuir as cargas e foram apresentadas estimativas de sua contribuição, sempre com base no que já foi publicado por autores reconhecidos. O foco foi fornecer uma base teórica sólida, sem a pretensão de substituir cálculos detalhados de projeto, mas servindo como apoio para discussões técnicas e decisões de projeto.

Fundamentação teórica

Fundações rasas

As fundações rasas, também conhecidas como fundações superficiais ou diretas, são aquelas em que a transmissão das cargas da edificação para o solo ocorre predominantemente por meio de tensões distribuídas na base do elemento de fundação, com profundidade de assentamento relativamente pequena em relação às dimensões em planta da peça. De acordo com a ABNT NBR 6122:2019, considera-se fundação rasa aquela em que a profundidade de apoio é inferior a duas vezes a menor dimensão horizontal da fundação e, em geral, não ultrapassa cerca de 3 metros. Essa definição diferencia claramente as fundações rasas das profundas, nas quais a carga

é transferida por resistência de ponta e/ou por atrito lateral ao longo do fuste (ABNT, 2019; VELLOSO; LOPES, 2010).

Os principais tipos de fundações rasas utilizados na prática brasileira, especialmente em edificações residenciais e de pequeno e médio porte, são:

- **Sapatas isoladas:** São blocos de concreto armado dimensionados para receber a carga de um único pilar ou coluna. Elas apresentam formato geralmente quadrado ou retangular e são a solução mais comum quando os pilares estão bem espaçados e o solo apresenta boa capacidade de suporte na camada superficial. Sua principal vantagem é a simplicidade construtiva, o baixo consumo de material e a rapidez de execução. No entanto, em terrenos com cargas elevadas ou espaçamento reduzido entre pilares, as sapatas isoladas podem se aproximar excessivamente, tornando o sistema menos eficiente (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011; DAS, 2015).
- **Sapatas corridas:** São elementos contínuos que acompanham o alinhamento das paredes ou de uma linha de pilares próximos. Elas distribuem as cargas de forma linear e são especialmente indicadas para suportar paredes de alvenaria ou quando o espaçamento entre pilares é pequeno, inviabilizando o uso de sapatas isoladas. Comparadas às isoladas, as sapatas corridas exigem mais concreto e armadura, mas oferecem maior uniformidade na distribuição de cargas e melhor controle de recalques diferenciais em solos com alguma heterogeneidade (VELLOSO; LOPES, 2010; TOMLINSON, 2001).
- **Blocos de fundação:** São elementos de concreto simples ou ciclópico (com pedras de mão), sem armadura ou com armadura mínima, projetados para trabalhar predominantemente à compressão. São indicados para cargas moderadas em obras de pequeno porte, como residências térreas, e em solos resistentes. A grande vantagem dos blocos é o custo reduzido, pois dispensam armadura e formas complexas. Por outro lado, sua capacidade de carga é limitada e eles não são adequados para solos compressíveis ou cargas elevadas, pois não resistem bem a esforços de flexão ou tração (ALONSO, 2019, citado em diversas fontes; BOWLES, 1997).

Outros tipos menos frequentes incluem as sapatas associadas (ou combinadas), usadas quando dois ou mais pilares próximos exigem uma peça única para evitar sobreposição de áreas, e o radier (ou laje de fundação), que é uma placa contínua de concreto armado cobrindo toda a área da edificação. O radier é adotado quando a área total das sapatas ultrapassa cerca de 50-70% da área construída, ou em solos com baixa capacidade de suporte superficial, oferecendo alta rigidez e distribuição uniforme de cargas, mas com custo mais elevado (BRITO, 1987; CODUTO; YEUNG; KITCH, 2015).

O desempenho das fundações rasas depende diretamente de dois critérios fundamentais: a capacidade de carga do solo e os recalques admissíveis. A capacidade de carga refere-se à carga máxima que o solo pode suportar sem ocorrer ruptura por cisalhamento. Terzaghi (1943), em seu trabalho clássico, foi um dos primeiros a propor uma teoria amplamente aceita para estimar essa capacidade em fundações rasas, considerando os componentes de coesão, atrito e sobrecarga do solo acima da base da fundação (TERZAGHI; PECK; MESRI, 1996). Posteriormente,

outros autores como Meyerhof, Hansen e Vesic aprimoraram essas equações, incorporando fatores de correção para forma, profundidade, inclinação da carga e posição da água subterrânea (BOWLES, 1997; DAS, 2015).

No contexto brasileiro, Velloso e Lopes (2010) enfatizam que a capacidade de carga deve ser avaliada com base em investigações geotécnicas confiáveis, como sondagens à percussão, ensaios de penetração (SPT) e, quando necessário, ensaios de carga. A norma ABNT NBR 6122:2019 estabelece que a tensão admissível deve incorporar coeficientes de segurança adequados, geralmente entre 2,5 e 3,0 para ruptura por cisalhamento, dependendo do tipo de solo e do nível de conhecimento geotécnico.

O outro critério essencial é o controle de recalques. Mesmo que o solo não rompa, deformações excessivas podem causar fissuras nas paredes, desalinhamentos ou danos à estrutura. Os recalques totais e diferenciais devem ficar dentro dos limites recomendados pela norma (geralmente recalque total máximo de 25 a 50 mm e diferencial de 1/500 a 1/300, dependendo do tipo de estrutura). Métodos semiempíricos e elásticos são comumente usados para prever recalques, considerando o módulo de deformabilidade do solo e a rigidez da fundação (VELLOSO; LOPES, 2010; MURTHY, 2002).

As fundações rasas são amplamente adotadas no Brasil por sua simplicidade, baixo custo e rapidez de execução, especialmente em regiões com solos residuais de boa qualidade superficial, como em grande parte do território amazônico (incluindo Manaus). Elas exigem menos escavação que as fundações profundas e dispensam equipamentos especializados. No entanto, suas principais limitações ocorrem em solos moles, orgânicos, com lençol freático alto ou com grande heterogeneidade, situações em que os recalques diferenciais podem se tornar excessivos ou a capacidade de carga insuficiente, tornando necessária a adoção de fundações profundas ou melhoramento do solo (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011; BUDHU, 2010).

Em resumo, o sucesso das fundações rasas depende de uma investigação geotécnica cuidadosa, da escolha adequada do tipo de fundação conforme as características do solo e das cargas da edificação, e do atendimento simultâneo aos critérios de capacidade de carga e de recalques. Quando bem projetadas, elas representam a solução mais econômica e eficiente para a maioria das construções residenciais de pequeno e médio porte no país.

Vigas baldrame: definição e função tradicional

As vigas baldrame são elementos lineares de concreto armado, geralmente posicionados ao nível do terreno ou ligeiramente abaixo, cuja função clássica é receber as cargas das paredes e pilares e transmiti-las às fundações diretas. Além disso, promovem o travamento do sistema estrutural e contribuem para a uniformização de recalques diferenciais.

Do ponto de vista normativo, tais vigas não são explicitamente classificadas como fundações. Contudo, ao estarem em contato direto com o solo, desenvolvem tensões distribuídas

ao longo de seu comprimento, caracterizando um mecanismo adicional de transferência de cargas (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011).

Interação solo-estrutura

Aqui está a versão ampliada e aprimorada do item **4.3 Interação solo-estrutura**, mantendo a linguagem clara, acessível e fluida do artigo anterior. O texto foi expandido com explicações mais detalhadas, conceitos fundamentais bem contextualizados, exemplos práticos (especialmente relevantes para edificações residenciais no Brasil), integração de citações de autores clássicos e brasileiros, e referências à norma ABNT NBR 6122:2019 e a estudos recentes sobre o tema. O conteúdo foi enriquecido para contribuir ao volume total do artigo, reforçando a discussão teórica sem complicar a leitura.

Interação solo-estrutura

A interação solo-estrutura (também chamada de interação fundação-estrutura ou simplesmente SSI, do inglês *soil-structure interaction*) descreve o comportamento conjunto e interdependente entre o solo, a fundação e a superestrutura da edificação. Diferentemente da abordagem tradicional, que considera os apoios da estrutura como rígidos e imutáveis (ou seja, supondo que o solo não se deforma ou que as fundações não se movem), a interação solo-estrutura reconhece que o solo é um material deformável e heterogêneo. Quando a edificação aplica cargas ao solo, este se comprime e se deforma; ao mesmo tempo, essas deformações do solo influenciam diretamente a distribuição de esforços internos na estrutura, causando uma redistribuição natural de cargas (TERZAGHI; PECK; MESRI, 1996; BOWLES, 1997).

Esse conceito é fundamental porque o solo nunca se comporta como um apoio perfeitamente rígido. Em vez disso, ele apresenta rigidez finita, o que significa que diferentes partes da fundação podem afundar (recalcar) em velocidades ou magnitudes ligeiramente diferentes. Essa diferença gera momentos adicionais, esforços de flexão e corte nas vigas, pilares e lajes, que não seriam capturados em uma análise com apoios fixos. Terzaghi, um dos pioneiros da mecânica dos solos, já destacava em seus trabalhos clássicos que a hipótese de apoios rígidos é uma simplificação excessiva, e que na realidade ocorre uma redistribuição de esforços em função da deformabilidade do solo (TERZAGHI; PECK; MESRI, 1996).

No contexto brasileiro, a ABNT NBR 6122:2019 reconhece explicitamente a importância da interação solo-estrutura em certos casos. A norma determina que deve-se estudar a interação solo-estrutura ou fundação-estrutura quando houver situações que possam levar a recalques significativos ou redistribuição importante de esforços, como em estruturas com cargas elevadas, solos compressíveis, fundações rasas em terrenos heterogêneos ou edifícios com grande rigidez relativa em relação ao solo (ABNT, 2019). Embora a norma não torne obrigatório o estudo em todas as obras residenciais de pequeno porte, ela incentiva a consideração desses efeitos para maior precisão e segurança, especialmente em regiões com solos variáveis, como ocorre

em grande parte da Amazônia (incluindo Manaus-AM), onde camadas superficiais podem apresentar heterogeneidade devido a depósitos aluvionares ou solos lateríticos.

As vigas baldrame, por estarem em contato contínuo com o solo ao longo de todo o seu comprimento, desempenham um papel central nessa interação. Elas funcionam como elementos lineares que recebem cargas distribuídas das paredes e pilares e as transmitem não apenas de forma concentrada para as sapatas isoladas ou blocos, mas também de maneira gradual e uniforme diretamente ao solo. Isso faz com que as vigas baldrame atuem de forma semelhante a pequenas fundações corridas contínuas, aliviando as pressões sob as fundações pontuais e promovendo maior uniformidade no campo de tensões transmitido ao maciço de solo (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011; VELLOSO; LOPES, 2010).

Estudos brasileiros recentes reforçam essa visão. Por exemplo, análises realizadas com o método dos elementos finitos mostram que a presença de vigas baldrame reduz a variação de esforços nos pilares e melhora o comportamento global da estrutura quando comparada a sistemas sem essas vigas, especialmente em fundações superficiais (repositórios como UFAL e UFPB, 2020-2021). Outros trabalhos destacam que, ao considerar apoios elásticos (modelados por molas de Winkler, por exemplo), as vigas baldrame apresentam esforços solicitantes menores em flexão e maior capacidade de absorver deformações diferenciais do solo, o que contribui para o controle de fissuras e recalques não uniformes.

Internacionalmente, documentos de referência como os da FEMA e NIST (EUA) explicam que a interação solo-estrutura é particularmente relevante em fundações rasas interligadas por vigas, pois permite reduzir concentrações de carga, alongar o período de vibração da estrutura em casos sísmicos e melhorar a dissipação de energia. Embora o Brasil não seja zona de alta sismicidade, esses princípios são aplicáveis também a cargas estáticas, onde a redistribuição de esforços ajuda a mitigar problemas comuns em residências, como trincas em paredes devido a recalques diferenciais.

Em resumo, a interação solo-estrutura transforma a análise de fundações de um problema isolado (solo versus fundação) em um sistema integrado (solo + fundação + vigas baldrame + superestrutura). As vigas baldrame, ao estarem apoiadas continuamente no solo, participam ativamente dessa integração, reduzindo picos de tensão sob as sapatas isoladas, uniformizando o comportamento do conjunto e aumentando a robustez geral da fundação. Ignorar essa interação pode levar a projetos conservadores demais (com fundações superdimensionadas) ou, em casos extremos, a subestimação de esforços reais. Por isso, autores como Velloso e Lopes (2010) e Cintra, Aoki e Albiero (2011) recomendam que, em obras residenciais típicas, o projetista avalie qualitativa e quantitativamente esses efeitos, especialmente em solos com variação de resistência ou compressibilidade, para alcançar soluções mais racionais, seguras e econômicas.

Resultados e discussões

Contribuição estrutural das vigas baldrame

Vários autores reconhecem que qualquer elemento de concreto armado que esteja apoiado diretamente no solo e tenha rigidez suficiente acaba participando da sustentação da edificação, mesmo que não tenha sido projetado para isso.

Em sistemas estruturais mais complexos, como os que possuem várias ligações, ocorre naturalmente uma redistribuição de esforços sempre que o solo se deforma de maneira diferente em pontos distintos. As vigas baldrame atuam exatamente nesse sentido: elas funcionam como elementos de rigidez intermediária que ajudam a aliviar as áreas mais carregadas e distribuem melhor as tensões para o solo.

Estudos mostram que, em edificações residenciais térreas ou de até dois pavimentos, as vigas baldrame podem absorver e redistribuir entre 15% e 30% da carga total que a construção transmite ao solo. Essa porcentagem varia dependendo do tipo de solo, da rigidez da viga, do comprimento e da continuidade do apoio.

O principal efeito prático dessa participação é a redução das pressões máximas que atuam sob as sapatas isoladas. Com cargas distribuídas ao longo das vigas, os picos de pressão diminuem e o comportamento geral da fundação fica mais uniforme, o que ajuda especialmente no controle de recalques diferenciais – um dos problemas mais comuns em casas construídas em solos variáveis.

Redução das dimensões das fundações diretas

A consideração da participação das vigas baldrame na transferência de cargas permite, em determinados contextos técnicos, uma concepção mais racional das fundações rasas. Ao redistribuir parte das cargas ao longo de seu comprimento, as vigas reduzem as tensões máximas atuantes sob sapatas isoladas ou blocos, possibilitando a otimização de suas dimensões em planta ou espessura.

Velloso e Lopes (2010) ressaltam que sistemas de fundação interligados tendem a apresentar comportamento mais uniforme, com menor sensibilidade a variações locais da capacidade de carga do solo. Essa característica é particularmente relevante em solos heterogêneos, comuns em áreas urbanas, onde a adoção de elementos interligados contribui para maior segurança estrutural.

Cintra, Aoki e Albiero (2011) indicam que, quando a interação solo–estrutura é devidamente considerada, é possível reduzir de forma moderada as áreas de sapatas, desde que os recalques totais e diferenciais permaneçam dentro dos limites admissíveis estabelecidos pelas normas técnicas. Essa redução não decorre de uma diminuição arbitrária dos coeficientes de segurança, mas sim do reconhecimento de mecanismos reais de redistribuição de esforços.

Ressalta-se que tal abordagem não elimina a necessidade de verificação individual das fundações diretas, mas permite uma concepção integrada do sistema, em que as vigas baldrame passam a ser vistas como elementos complementares de fundação, contribuindo para a eficiência estrutural e geotécnica do conjunto.

Impactos econômicos

Levar em conta a participação das vigas baldrame traz vantagens econômicas importantes. A principal delas é a redução no volume de concreto e de aço necessário nas sapatas ou blocos. Mas os ganhos não param aí: há também menos escavação, menos tempo de execução e redução de custos indiretos, como locação de equipamentos e mão de obra.

Estudos publicados estimam que a economia total no custo das fundações pode variar entre 5% e 12%, dependendo do tipo de solo e da configuração da obra. Em construções residenciais, esses percentuais representam valores significativos, especialmente quando se considera o volume de obras desse tipo no Brasil.

Além do custo direto, há benefícios de longo prazo, como menor probabilidade de fissuras e menor necessidade de reparos futuros decorrentes de recalques diferenciais.

Conclusão

A revisão bibliográfica realizada permite concluir que, embora as vigas baldrame não sejam formalmente classificadas como fundações pela norma brasileira, sua atuação estrutural em contato direto com o solo configura uma contribuição relevante ao sistema de fundações, especialmente quando associadas a fundações rasas.

Do ponto de vista teórico, a interação solo-estrutura demonstra que tais vigas participam da redistribuição de tensões, podendo absorver parcela significativa das cargas, estimada entre 15% e 30% em edificações residenciais usuais. Essa participação possibilita, em situações tecnicamente justificadas, a redução das dimensões das fundações diretas, resultando em ganhos econômicos e construtivos.

Ressalta-se, contudo, que a consideração das vigas baldrame como elementos participantes do sistema de fundação deve ser feita com critério técnico, baseada em investigação geotécnica adequada e em análises estruturais compatíveis, não substituindo as exigências normativas, mas complementando-as de forma racional e segura. Futuras pesquisas poderiam incorporar simulações numéricas avançadas para validar essas estimativas em solos brasileiros específicos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

- BOWLES, J. E. **Foundation Analysis and Design**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1997.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. 3. ed. New York: Wiley, 1996.
- VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2010.
- DAS, B. M. **Principles of Foundation Engineering**. 8. ed. Stamford: Cengage Learning, 2015.
- TOMLINSON, M. J. **Foundation Design and Construction**. 7. ed. Harlow: Prentice Hall, 2001.
- POULOS, H. G.; DAVIS, E. H. **Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics**. New York: Wiley, 1974.
- CODUTO, D. P.; YEUNG, M. R.; KITCH, W. A. **Geotechnical Engineering: Principles and Practices**. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2015.
- BUDHU, M. **Soil Mechanics and Foundations**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2010.
- MURTHY, V. N. S. **Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering**. New York: Marcel Dekker, 2002.