

Previsão e Controle das Fundações



Urbano
Rodríguez
Alonso

Blucher

2ª edição

Previsão e controle das fundações

**Uma introdução ao controle
da qualidade em fundações**

Blucher

Urbano Rodriguez Alonso

Engenheiro Civil, Professor da Faculdade de Engenharia
da Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP),
Ex-professor da Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie.

Previsão e controle das fundações

**Uma introdução ao controle
da qualidade em fundações**

2ª Edição

*Previsão e controle das fundações: uma introdução
ao controle de qualidade em fundações*

© 2011 Urbano Rodriguez Alonso

2ª Edição – 2011

1ª reimpressão – 2012

Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-012 – São Paulo – SP – Brasil

Tel 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora
Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Alonso, Urbano Rodriguez

Previsão e controle das fundações: uma
introdução ao controle de qualidade em fundações /
Urbano Rodriguez Alonso. – 2. ed. – São Paulo:
Blucher, 2011.

Bibliografia.

ISBN 978-85-212-0586-9

1. Fundações (Engenharia) 2. Fundações
(Engenharia) – Controle 3. Fundações (Engenharia) –
Previsão I. Título.

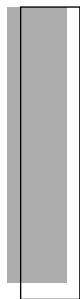
11-00581

CDD-624.15

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia de fundações 624.15
2. Fundações: Engenharia 624.15

À minha esposa e filhos



APRESENTAÇÃO

Este livro é o terceiro da uma série iniciada em 1983, quando foi lançado, com o auxílio da Editora Blucher, o livro **Exercícios de Fundações**, seguido em 1989, com o lançamento do segundo livro, **Dimensionamento de Fundações Profundas**. Esses dois primeiros livros abordam os critérios de projeto, sendo o primeiro mais voltado para os aspectos da **geometria** das fundações, e o segundo, para os da **geotecnia**, em particular das fundações profundas, pois as rasas já haviam sido abordadas no primeiro. Este terceiro livro vem complementar a proposição da série, tratando de outro aspecto muito importante em fundações, que é o do seu controle, tanto durante quanto após sua execução. Infelizmente, este assunto nem sempre teve a atenção merecida, pois analogamente ao que ocorre no campo da saúde, poucos são aqueles que se preocupam com a medicina preventiva e, portanto, só procuram o médico e os remédios para seus males quando estes atingem um estado crônico, e, às vezes, fatal.

Quando se faz referência ao controle, é importante não confundi-lo com o que os leigos em fundações denominam **registro**, pois o fato de se registrarem vários dados e eventos ocorridos durante a execução da fundação não implica, obrigatoriamente, em controlar a mesma. O controle pressupõe, além do registro, a interpretação dos dados registrados, de maneira rápida e objetiva, utilizando-se as premissas adotadas para a elaboração do projeto.

Se, durante a execução da fundação, as premissas de projeto vão sendo confirmadas, nada deve ser mudado na execução; ao contrário, se ocorrerem diferenças em relação ao previsto, estas devam ser, imediatamente, comunicadas à equipe de projeto, para que se proceda a incorporação desses novos dados e sua revisão, se necessário.

Portanto, o controle é um constante **registro e troca de informações** entre as equipes de campo e de projeto. Evidentemente que o **registro das informações** é um documento importante nessa troca de informações, mas o simples registro dos eventos, sem a participação e interpretação dos mesmos pela equipe de projeto, não faz qualquer sentido no que se pretende denominar **controle de uma fundação**. Dentro

desse conceito, o projeto de fundações é uma atividade dinâmica e não estática. O Capítulo 1 deste livro aborda, conceitualmente, esse aspecto da questão.

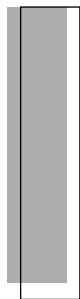
Outro aspecto importante do controle é o que se entende por **coeficiente de segurança de uma fundação**. Aqui há que levar em conta as diferentes filosofias adotadas pelas normas técnicas referentes às estruturas, como, por exemplo, a NBR 6118, e às fundações (NBR 6122). Quando se analisa a segurança nas fundações, estão envolvidos não só os aspectos de ruptura dos materiais que as compõem (elementos estruturais e o maciço que lhe dão suporte), mas também os mecanismos potenciais de ruptura do maciço. Além disso, mesmo que se garanta não haver ruptura da ambos, os problemas de deformações também devem ser levados em conta, pois o maciço, que geralmente é o elo mais fraco da uma fundação, é um meio mais deformável que os elementos estruturais que compõem a mesma. Os Capítulos 2 e 3 tratam desses dois assuntos.

Os Capítulos 4 e 5 tratam, respectivamente, das **previsões**, das cargas e dos recalques admissíveis que são usados para a elaboração do projeto e que servirão de subsídio à equipe de controle para conduzir a execução da obra.

Finalmente, os Capítulos 6 e 7 tratam da questão básica a que se propõe este livro, ou seja, como devem ser feitos os controles das cargas e dos deslocamentos admissíveis.

Espero, mais uma vez, como já ocorreu com os dois primeiros livros, que este também venha a ser útil aos meus colegas, e, ainda mais uma vez, informo que qualquer sugestão para melhorar o conhecimento do assunto será sempre bem recebida e incorporada ao texto, bastando, para tanto, que a mesma seja encaminhada a Editora Blucher, que a fará chegar às minhas mãos.

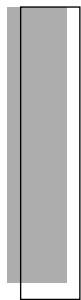
O Autor
São Paulo, 1991



CONTEÚDO

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA QUALIDADE NAS FUNDAÇÕES	1
1.1 Aspectos gerais	1
1.2 Garantia da qualidade.....	3
1.3 Tripé da boa fundação	4
1.4 Etapas do controle durante a execução	6
1.5 Referências bibliográficas.....	7
Capítulo 2 – COEFICIENTES DE SEGURANÇA À RUPTURA	9
2.1 Introdução	9
2.2 Carga de ruptura.....	10
2.3 Coeficiente de segurança e probabilidade de ruptura	13
2.4 Evolução do conceito de coeficiente de segurança	15
2.5 Considerações sobre o coeficiente de segurança.....	18
2.6 Princípio dos coeficientes de segurança parciais.....	20
2.7 Filosofia da norma NBR 6122 da ABNT.....	21
2.8 Referências bibliográficas.....	23
Capítulo 3 – RECALQUES ADMISSÍVEIS E CAUSAS DA DISTORÇÃO ANGULAR	25
3.1 Introdução	25
3.2 Recalque admissível.....	27
3.3 Sintomas da distorção angular	28
3.4 Fissuras cujas causas não são recalques de fundações	33
3.5 Distorção angular decorrente de recalques excessivos das fundações	36
3.6 Referências bibliográficas.....	44

Capítulo 4 – PREVISÃO DA CARGA ADMISSÍVEL A PARTIR DA SEGURANÇA À RUPTURA	45
4.1 Introdução.....	45
4.2 Capacidade de carga de fundações rasas	47
4.3 Capacidade de carga de estacas.....	59
4.4 Referências bibliográficas.....	70
Capítulo 5 – PREVISÃO DE RECALQUES.....	73
5.1 Introdução.....	73
5.2 Módulo de elasticidade e módulo oedométrico.....	74
5.3 Considerações sobre o módulo de elasticidade.....	78
5.4 Componentes do recalque.....	82
5.5 Recalque por adensamento primário.....	85
5.6 Recalque por adensamento secundário.....	88
5.7 Recalque imediato de placas flexíveis	89
5.8 Recalque imediato de placas rígidas.....	96
5.9 Recalque imediato de estacas	99
5.10 Influência da rigidez da estrutura nos recalques	105
5.11 Referências bibliográficas.....	108
Capítulo 6 – CONTROLE <i>IN SITU</i> DA CAPACIDADE DE CARGA	111
6.1 Introdução.....	111
6.2 Provas de carga estáticas	112
6.3 Controle pela “nega”.....	112
6.4 Controle por instrumentação	115
6.5 Controle pelo repique.....	124
6.6 Tensões dinâmicas devidas à cravação.....	129
6.7 Prova de carga dinâmica	131
6.8 Estatística dos valores de resistências	132
6.9 Referências bibliográficas.....	132
Capítulo 7 – CONTROLE DE RECALQUES E DE CARGAS	135
7.1 Introdução.....	135
7.2 Medidas dos recalques.....	136
7.3 Velocidade do recalque.....	140
7.4 Medidas de cargas.....	141
7.5 Extensômetros mecânicos	143
7.6 Extensômetros elétricos.....	146
7.7 Extensômetros de corda vibrante.....	146
7.8 Referências bibliográficas.....	146



1

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA QUALIDADE NAS FUNDAÇÕES

1.1 ASPECTOS GERAIS

As fundações, como qualquer outra parte de uma estrutura, devem ser projetadas e executadas para garantir, sob a ação das cargas em serviço, as condições mínimas, demonstradas a seguir (Figura 1.1):

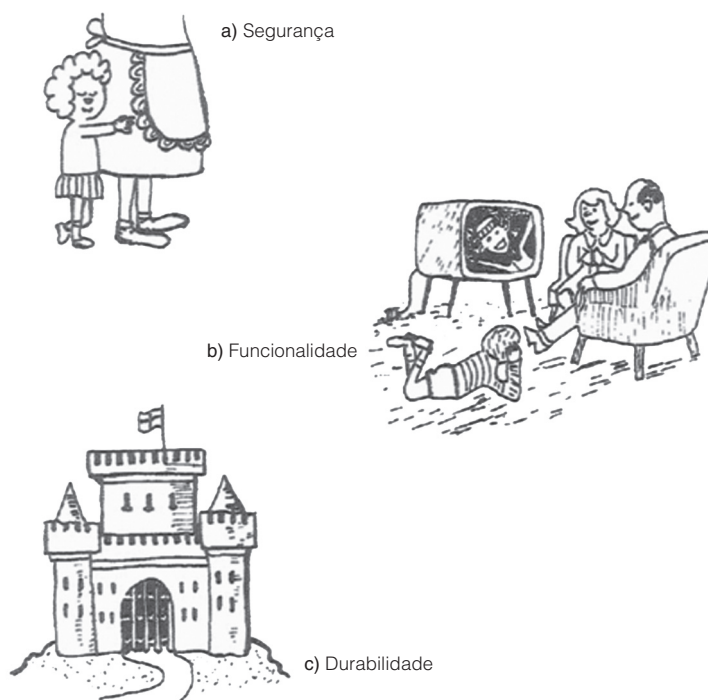


Figura 1.1 – Garantias mínimas de uma fundação.

- a) **Segurança**, isto é, atender aos coeficientes de segurança contra a ruptura, fixados pelas normas técnicas, tanto no que diz respeito às resistências dos elementos estruturais que as compõem, quanto às do solo que lhe dá suporte.

- b) **Funcionalidade**, garantindo deslocamentos compatíveis com o tipo e a finalidade a que se destina a estrutura. Os recalques (deslocamentos verticais descendentes) devem ser estimados, na fase de projeto, num trabalho conjunto entre as equipes que calculam a estrutura e a fundação. As reações, para o cálculo das fundações, fornecidas pela primeira equipe, são usadas como ações pela segunda, que deverá, também, estimar os recalques correspondentes. Se os valores desses recalques não estiverem dentro da ordem de grandeza daqueles inicialmente fixados pela equipe de cálculo da estrutura, deverá ser feita uma reavaliação das cargas, impondo-se estes novos recalques. O confronto e ajuste entre esses valores (recalques prefixados pela equipe da estrutura para o cálculo das cargas e recalques calculados pela equipe de fundações a partir dessas cargas) é o que se denomina interação solo-estrutura.
- c) **Durabilidade**, apresentando vida útil, no mínimo, igual ao da estrutura. Nesse aspecto, torna-se necessário um estudo minucioso das variações das resistências dos materiais constituintes das fundações, do solo e das cargas atuantes, ao longo do tempo.

A maneira como são atendidas as condições mencionadas irá refletir-se no desempenho da fundação (Figura 1.2). O bom desempenho está intimamente ligado ao controle e à garantia da qualidade impostos pelas equipes envolvidas com o projeto e a execução da fundação.



Figura 1.2 – Desempenho de uma fundação.

1.2 GARANTIA DA QUALIDADE

Segundo a International Standards Organization (ISO), define-se garantia da qualidade ao conjunto de ações planejadas e sistemáticas necessárias para prover confiança adequada de que os produtos, processos e serviços satisfarão determinados requisitos de qualidade.

A qualidade nada mais é do que a adequação ao uso, isto é, a propriedade que permite avaliar e, conseqüentemente, aprovar, aceitar ou recusar qualquer serviço ou produto. É, portanto, um conceito relativo, que varia com o tempo, seja em decorrência da descoberta de novas tecnologias, seja em função dos custos envolvidos ou outros aspectos da questão. Segundo Velloso (1990), a garantia da qualidade tem uma função pedagógica, que deve se estender a toda a empresa, desde o topo da direção até o mais subalterno servidor, sendo a ignorância o maior inimigo da qualidade, e a burocracia o maior inimigo da garantia da qualidade. Além disso, só se pode controlar aquilo que se pode verificar e só se pode exigir o que se pode controlar.

Ainda segundo Velloso, do ponto de vista de sua aplicabilidade, a garantia da qualidade requer um certo número de condições:

- a) A qualidade a ser obtida deve ser claramente definida.
- b) Os procedimentos de garantia da qualidade devem ser definidos claramente e integrados no organograma para planejamento, projeto e execução.
- c) Os procedimentos da garantia da qualidade devem ser executados e os resultados devem ser documentados.
- d) Se o controle continuado provar que a qualidade não é obtida, o programa deve ser redirecionado no sentido de identificar os pontos de deficiência e eliminá-los, através de nova metodologia de trabalho, treinamento, substituição de profissionais inadequados as funções que exercem etc.

Concluindo, Velloso enfatiza que, especificamente em fundações, o cumprimento dos formalismos da garantia da qualidade não significa que o bom desempenho esteja assegurado, pois um aspecto que diferencia um projeto de estrutura de um projeto de fundações é que, no primeiro, as características dos materiais de construção são definidos pelo projetista e, no segundo, se trabalha com o solo, que é um material não fabricado pelo homem. Nesse aspecto da questão, nada substitui a competência e a experiência do projetista. Pouco adianta realizarmos ensaios sofisticados e, depois, utilizarmos métodos de cálculo, também sofisticados, se as amostras utilizadas foram retiradas sem os necessários cuidados, como se mostra na Figura 1.3, extraída da revista *Ground Engineering*, maio de 1984.



Figura 1.3 – Um aspecto importante em fundações.

1.3 TRIPÉ DA BOA FUNDAÇÃO

Uma boa fundação é aquela que tem como apoio um tripé harmonioso, constituído pelo projeto, pela execução e pelo controle (Figura 1.4).

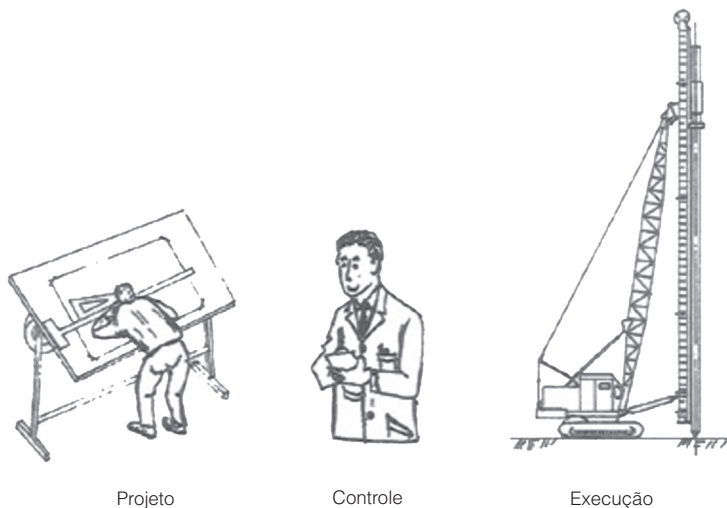


Figura 1.4 – Tripé da boa fundação.

No projeto, seleciona-se o tipo (ou tipos) de fundações a empregar, em função das características geotécnicas do local, das grandezas das cargas, da responsabilidade da

obra e outras. É nesta fase que se definem os métodos construtivos e se fazem as previsões que darão suporte às equipes de execução e de controle. O projetista da fundação deve ter sempre em vista a forma como seu projeto será executado, levando em conta a disponibilidade de equipamentos e a segurança dos vizinhos. Fica, portanto, claro que nessa fase há um envolvimento intenso entre a equipe de projeto propriamente dita com a equipe de execução. A primeira busca soluções, tendo por base os conhecimentos de Mecânica dos Solos e Resistência dos Materiais, e a segunda complementa esses conhecimentos com os aspectos referentes às limitações dos equipamentos que serão envolvidos, as limitações de acessos, o estado das construções limítrofes e outros aspectos inerentes aos métodos executivos. É por essa razão que duas estruturas com a mesma arquitetura, mesmos materiais e mesmas cargas não são, necessariamente, iguais quando se trata de suas fundações. Em fundações, é perigoso generalizar-se. Cada caso é um caso, que requer um estudo próprio que considere todas as condicionantes e dados disponíveis. Nesse particular, até por exigência da norma NBR 6122, não se deve elaborar qualquer projeto de fundações sem que a natureza do subsolo seja conhecida, através de ensaios geotécnicos de campo, tais como sondagens de simples reconhecimento, ensaios de penetração estática, provas de cargas em protótipos etc. Se a fundação está sendo projetada em região ainda não totalmente conhecida, o conhecimento da natureza do subsolo deve ser complementado por estudos de Geologia de Engenharia. É importante lembrar que, em fundações, os ensaios de campo são mais recomendáveis que os de laboratório, pois estes dependem essencialmente da qualidade das amostras, conforme já se mencionou na Figura 1.3.

Durante a execução, as equipes envolvidas seguem, basicamente, o método executivo previsto na fase do projeto. Na interface projeto-execução situa-se o controle da qualidade da fundação, que deverá aferir as previsões feitas, adaptando a execução às mesmas ou fornecendo subsídios ao projeto para reavaliação.

É importante frisar que um projeto de fundações só é concluído ao término da execução das mesmas, pois, como já se disse anteriormente, trabalha-se com o solo, que não é um material fabricado pelo homem. Esse material tem todas as nuances impostas pela natureza. Além disso, sua capacidade de carga e suas características de deformabilidade são normalmente afetadas pelo método executivo.

Uma outra característica das fundações é que as mesmas ficam enterradas e, portanto, não é possível inspecioná-las facilmente após sua conclusão, como acontece com outros elementos da estrutura (pilares, vigas, alvenaria etc). É por essa razão que a eficiência e competência das equipes envolvidas com o projeto, a execução e o controle são de primordial importância para um bom desempenho da fundação.

Nesse aspecto, volta-se a lembrar que só é válido controlar aquilo que se prevê. Controle sem previsão não tem sentido! Fazer controles do tipo anotar se a cota da implantação da fundação está igual ao projetado, se o tempo na obra estava bom ou com chuvas, se o equipamento teve ou não problemas etc. não são mais do que registros de eventos. O controle é muito mais abrangente, pois é um acompanhamento,

passo a passo, daquilo que se previu durante o projeto. Sua finalidade básica é detectar, o mais rapidamente possível, fatos que permitam concluir se o que está sendo executado atende ou não às premissas de projeto e, nesse caso, disparar todo o processo para readaptação do mesmo. Não confundir controle de fundação com registro de eventos da fundação.

1.4 ETAPAS DO CONTROLE DURANTE A EXECUÇÃO

O controle durante a execução de uma fundação deve ser exercido em três frentes distintas (Figura 1.5):

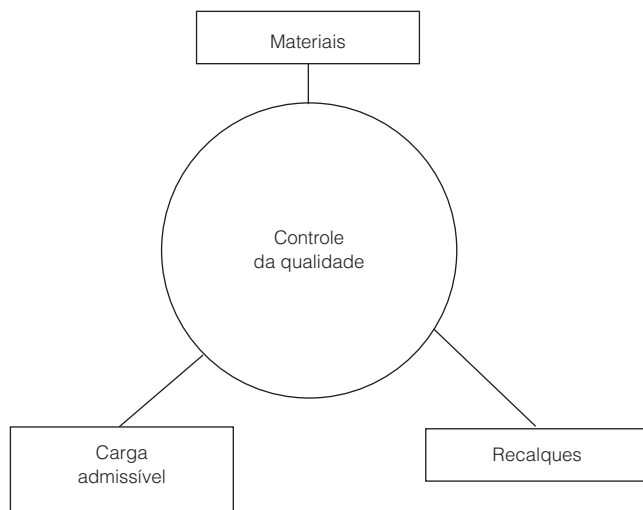


Figura 1.5 – Etapas do controle da qualidade em fundações.

Frente 1: o controle do material ou dos materiais que comporão os elementos estruturais da fundação, tanto no que diz respeito à sua seleção, quanto às suas resistências, sua integridade estrutural e sua durabilidade.

Frente 2: controle da capacidade de carga do binômio solo-fundação. Esse controle deve ser exercido durante a fase de instalação dos elementos estruturais que comporão a fundação. Se isso não for possível, como acontece, por exemplo, nas fundações “concretadas *in loco*”, onde se requer um tempo mínimo para a cura do concreto, deve-se lançar mão de recursos (por exemplo, usar cimento de alta resistência inicial, ou aditivos aceleradores de resistência) que permitam abreviar o tempo decorrido entre o confecção da fundação e seu controle da capacidade de carga. Nesse controle deve ser escolhido e testado um número significativo de elementos para permitir a extrapolação de seus resultados a toda a fundação.

Frente 3: observação do comportamento da fundação, à medida que esta vai sendo carregada pela estrutura. Para isso deve-se estabelecer um período mínimo de observação, a ser fixado em função da finalidade da construção. Para esse controle,

são necessárias medidas de recalques e de cargas reais atuantes na fundação. Infelizmente, essa etapa de controle tem sido negligenciada nas obras correntes (prédios e pontes), sendo realizada em poucas obras e, mesmo assim, de maneira incompleta, visto que, normalmente, medem-se os recalques, mas não as cargas reais que atuam na fundação. Essas são estimadas a partir dos desenhos de cargas, cujos valores são teóricos e não, necessariamente, reais.

Ao se atender a essas três frentes de controle da qualidade da fundação, é possível conhecer o grau de confiabilidade dos serviços executados, permitindo a emissão de documentos técnicos de garantia da qualidade. A emissão formal desses documentos de controle poderá ser delegada a órgãos reconhecidos junto à comunidade técnica ou aos responsáveis diretos pelos serviços.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, U. R. (1990) “Controle da Qualidade em Fundações” 1º Simpósio Sobre Qualidade e Produtividade na Construção Civil – FAAP – SP, (Resumo publicado pela Revista “Dirigente Construtor” de set. 90).

AOKI, N. (1986) “Controle *in situ* da Capacidade de Carga de Estacas Pré-fabricadas via Repique Elástico”, Publicação da ABMS, Núcleo Regional de São Paulo.

VELLOSO, D. A. (1990) “A Qualidade de um Projeto de Fundações” 1º Simpósio Sobre Qualidade e Produtividade na Construção Civil – FAAP – SP. (Resumo publicado pela Revista “Dirigente Construtor” de set. 90).

A.B.N.T. – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NB 9000 – Normas de Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade – Diretrizes para Seleção e Uso.

NB 9001 – Sistemas da Qualidade – Modelo para Garantia da Qualidade em Projetos/Desenvolvimento, Produção, Instalação e Assistência Técnica.

NB 9002 – Sistemas da Qualidade – Modelo para Garantia da Qualidade em Produção e Instalação.

NB 9003 – Sistemas da Qualidade – Modelo para Garantia da Qualidade em Inspeção e Ensaio Finais.

NB 9004 – Gestão da Qualidade e Elementos de Sistema da Qualidade – Diretrizes.

NBR 8681 – Ações e Segurança nas Estruturas.

NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações.