

## Unidade 01

# INTRODUÇÃO À GEOTECNIA DE FUNDAÇÕES

### 1.1 - Conceitos

Fundações são os elementos estruturais com função de transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde ela se apoia (AZEVEDO, 1988). Assim, as fundações devem ser resistentes para suportar as tensões causadas pelos esforços solicitantes. Além disto, o solo também necessita de resistência e rigidez para não sofrer ruptura e não apresentar deformações exageradas ou diferenciais.

Para se escolher a fundação mais adequada, devem-se conhecer os esforços atuantes sobre a edificação, as características do solo e dos elementos estruturais que formam as fundações. Assim, analisa-se a possibilidade de utilizar os vários tipos de fundação, em ordem crescente de complexidade e custos (WOLLE, 1993).

Fundações bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total do edifício; porém, se forem mal concebidas e mal projetadas, podem atingir 5 a 10 vezes o custo da fundação mais apropriada para o caso (BRITO, 1987)

### **FUNDAÇÕES: Área interdisciplinar: Geotecnia e Estruturas**



“Dois prédios desabam em mesma rua em Muriaé (MG); não houve vítima”.  
Tribuna de Minas 01/09/2008

O desenvolvimento de um bom projeto de fundação está muito mais dependente do domínio e vivência que tenha o projetista na área de solos do que em qualquer outra área de conhecimento.

Projetar fundações é muito mais do que aplicar corretamente teorias da Mecânica dos Solos, Concreto Armado,... É sim interpretar e fazer um julgamento crítico a respeito de vários condicionantes, principalmente os relacionados com a “mãe” natureza, que nem sempre as teorias lhes apresentam soluções.

### **Fundações x “Geotecnia”**

O primeiro requisito para se abordar qualquer problema de mecânica dos solos é o conhecimento tão perfeito quanto possível das condições do subsolo, isto é reconhecimento da disposição, natureza e espessura das suas camadas, assim como das suas características com relação aos problemas em questão. Este conhecimento implica na prospecção do subsolo e na amostragem ao longo de seu decurso.

Em toda obra de engenharia, há sempre um parâmetro indefinido marcado pelo solo onde ela se repousa. Não há como fugir da realidade imposta pela natureza. Assim, somos obrigados a aceitá-lo como é: com suas qualidades e defeitos; daí o ênfase que se tem dado, na engenharia, às questões referentes ao solo. (GEOESP, 2018)

## **1. 2 - O Projeto de Fundações**

Reconhecimento do Subsolo: *O desafio de construir – acumular carga sobre o solo ?*



Figura – Edifícios de grande altura - Cidade do Panamá



Figura – Ponte de grande dimensão – Nova Iorque

Fundações são necessárias para diferentes tipos de obras, que apresentarão naturezas diferenciadas quanto à forma de transferência de carga. Alguns exemplos:

*Casas*  
*Prédios residenciais*  
*Prédios comerciais e Industriais*  
*Pontes e viadutos*  
*Estações de embarque*  
*Portos*  
*Torres de transmissão*  
*Monumentos*  
*Reservatórios de água*  
...

É de conhecimento dos profissionais da área que, o solo na sua maioria favorece o uso de fundações profundas. É sabido que as fundações, sejam elas rasas ou profundas, são elementos estruturados destinados a transmitir as cargas da estrutura para o solo, mas para quantificar os parâmetros geométricos destas peças, e para defini-los é necessário o conhecimento o mais detalhado possível das características do seu subsolo.

Assim, para se escolher a fundação mais adequada, devem-se conhecer os esforços atuantes sob a edificação, as características do solo e dos elementos estruturais que formam as fundações. Desta forma, devem ser realizados os seguintes estudos, na sequência:

- Projeto do edifício
- Cálculo das cargas
- Investigação do terreno
- Definição do tipo de fundação

**Sob o ponto de vista estrutural, devem ser analisadas a:**

*Intensidade de Carga*  
*Natureza da Carga na Estrutura*  
*Natureza da Carga na Fundação*  
*Concepção da Estrutura*

**Sob o ponto de vista geotécnico, devem ser analisadas a:**

*Natureza Geotécnica do Terreno*  
*Condicionantes Geotécnicos do Local*  
*Acesso ao Terreno*  
*Viabilidade Técnica de Execução*  
*Viabilidade Econômica de Execução*  
...



Figura – Grande concentração de edifícios altos em área comercial, na Cidade do Panamá

Sobre diversas questões que envolvem o desenvolvimento de um projeto de fundações, GEOESP (2018) descreve de uma forma interessante a respeito:

*Convencionou-se na prática em relacionar o diâmetro de uma fundação profunda com sua carga admissível, baseado apenas na capacidade de carga estrutural do elemento de fundação. Acontece que na maioria dos casos o limitante da capacidade de carga de uma fundação profunda, não é o elemento estrutural e sim a sua capacidade de transmitir as cargas solicitantes para o solo, o que se denomina de capacidade de carga geotécnica, onde se determina a transmissão de carga por atrito lateral, que é determinada pela área de contato do fuste com o solo e resistência de ponta.*

*Isto nos leva a concluir que, duas estacas implantadas no mesmo meio e com o mesmo diâmetro, sendo uma curta e outra profunda, possuem capacidades de carga diferentes. Para quantificar*

*os valores de transmissão de carga para o solo, é necessário um conhecimento mínimo das características do meio a ser implantada a fundação, e para isso, o primeiro passo é a investigação através de uma sondagem a percussão.*

*Um projeto de fundação não consiste única e exclusivamente no conhecimento da carga que o pilar descarrega na fundação, e a simples divisão destes valores pela carga de trabalho estrutural da fundação, para se determinar a quantidade de estaca necessária. Consiste efetivamente na determinação de um comprimento mínimo e sua secção transversal, capaz de transmitir as cargas solicitantes para o solo, e para isso é necessário a investigação do subsolo.*

*Atualmente, o custo de uma sondagem equivale, no máximo, a 2% do valor a ser investido na construção, irrisório frente à garantia, economia e segurança que representa para a obra. Portanto, é aconselhável para maior segurança e economia, a execução de uma sondagem.*

*O custo deste serviço será rapidamente revertido em benefício da obra, e na economia que obterá no dimensionamento do projeto de fundação, evitando desta forma o desperdício de material, pelo super dimensionamento, por não conhecer as condições do subsolo.*

### **1. 3 - Escolha do Tipo de Fundações**

#### ***Fundações: Escolha do Tipo de Solução:***

Segundo Nuernberg (2018), incertezas estão presentes em todo o canteiro de obra, até mesmo em construções com alto nível de planejamento. No caso da fundação de uma edificação o cuidado na decisão deve ser ainda maior.

Ainda segundo este autor, logo que um construtor inicia o projeto de sua obra, ele se depara com uma das decisões mais impactante do seu empreendimento: definir qual tipo de fundação irá executar para sustentar sua edificação. Ainda mais desafiante que optar por um ou outro método, é lidar com a possível carência de conhecimento técnico do proprietário da obra, em que muitas vezes culmina na total “terceirização” da tomada de decisão ao projetista ou aos fornecedores que executam o serviço. Todavia, a inexistência de discussões sobre o tema pode ocasionar indesejados custos ou até mesmo problemas à edificação.

A figura a seguir apresentada ilustra os principais tipos de fundações.

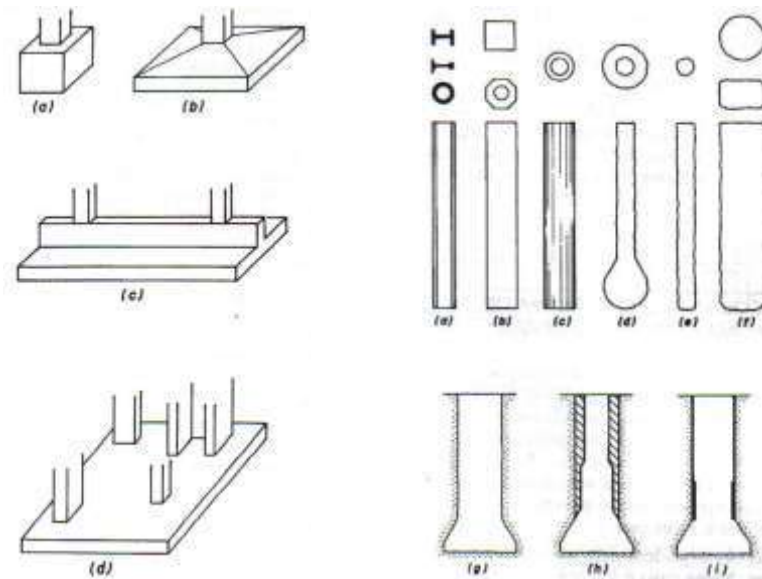
*Fundações Superficiais ou Diretas**Fundações Profundas*

Figura - Principais tipos de fundações. Superficiais: bloco, sapata, viga e radier, Profundas: estacas metálicas, pré-moldadas, moldadas “in situ”, escavadas - tubulões.

A escolha do tipo de fundação adequada depende de estudos das características do solo, da existência de lençóis freáticos, das edificações vizinhas, custos, dos esforços atuantes sobre a edificação, dos materiais disponíveis e elementos estruturais da fundação.

Uma obra executada sem o conhecimento prévio do subsolo implica na adoção de uma fundação que nem sempre é a que melhor se adapta a ela tecnicamente e economicamente, o que poderá trazer sérios problemas em curto prazo, tanto para a obra como para o responsável técnico.



Figura – Fundação direta executada, em sapatas isoladas, com “cintamento” sob paredes da edificação e posterior execução de “contra piso”





Figura – Fundação profunda em estacas do tipo metálica – Perfis “H” ou “I”



Figura – Execução de fundação em tubulão à céu aberto, em obra de Shopping Center estudado nesta disciplina de “Geotecnia de Fundações e Obras de Terra”

#### **1.4 - Previsão e Controle das Fundações**

Alguns conceitos importantes sobre Previsão e Controle de Fundações são apresentados por Urbano Rodriguez Alonso, transcritos a seguir. Alonso (1991)

##### ***Aspectos Gerais:***

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

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.

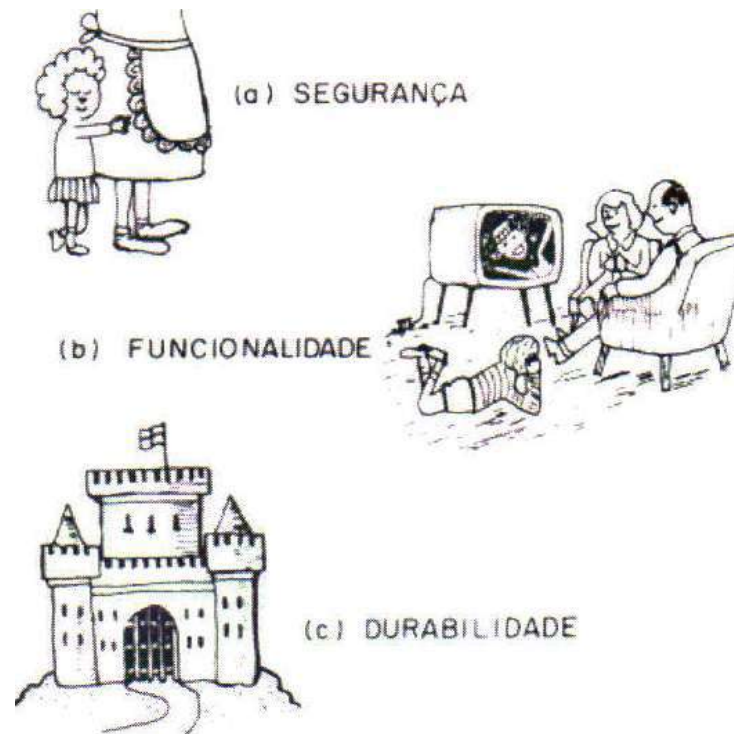


Figura – Garantias mínimas de uma Fundação (Alonso, 1991)

**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 daquelas 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 de fundações a partir dessas cargas) é que se denomina interação solo-estrutura.

**c) Durabilidade**, apresentando a 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 acima irá refletir-se no desempenho da fundação (Fig.). O bom desempenho está intimamente ligada ao controle e à garantia de qualidade impostos pelas equipes envolvidas com o projeto e a execução da fundação.



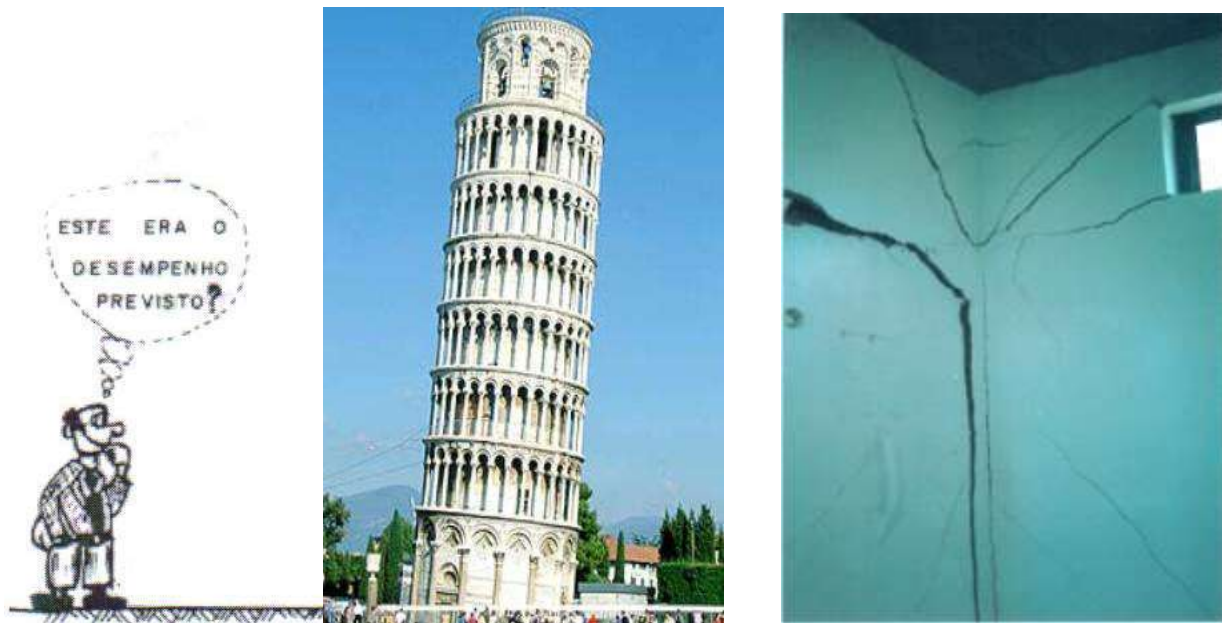


Figura – Desempenho de uma Fundação e suas consequências (Adaptado de Alonso, 1991)

### ***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 mis subalterno servidor, sendo a ignorância o maior inimigo da qualidade e a burocracia o maior inimigo da garantia da qualidade. Além disso, só 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 certo número de precondições:*

- 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 elimina-los, através de nova metodologia de trabalho, treinamento, substituição de profissionais inadequados às 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, **pis 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, extraída da revista *Ground Engineering*, maio de 1984.



Figura – Um aspecto importante em Fundações (Alonso, 1991)

## Tripé em Fundações

Uma boa Fundação é aquela que tem como apoio um tripé harmonioso, constituído pelo projeto, pela execução e pelo controle (Figura), conforme Alonso (1991).

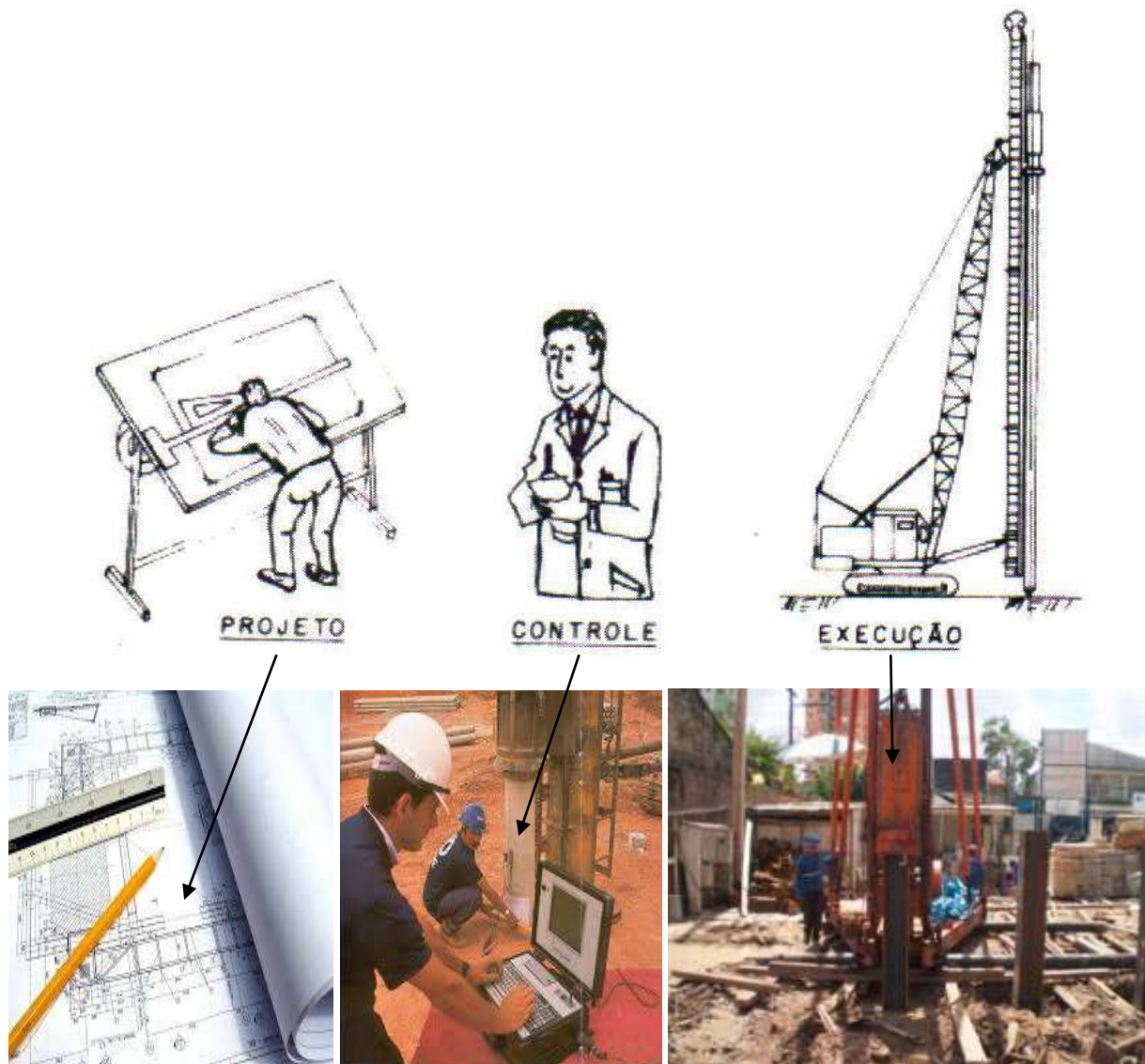


Figura – Tripé da Boa Fundação (adaptado de Alonso, 1991)

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 outros.* 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 de soluções, tendo em vista os conhecimentos de Mecânica dos Solos e Resistência dos Materiais e a segunda, complementa esses conhecimentos com aspectos diferentes às limitações dos equipamentos que serão envolvidos, as limitações de acesso, o estado de 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 suas 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.**

Durante a execução, as equipes envolvidas seguem, basicamente, o método executivo 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 lembrar frisar que um projeto de fundações só é concluído ao término da execução das mesmas, pois, como já dito 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 a competência das equipes envolvidas com projetos, execução e o controle são de primordial importância para um bom desempenho da fundação.

Nesse aspecto, volta-se a lembrar de que só é válido controlar aquilo que se prevê. Controle sem previsão não tem sentido! Fazer controles do tipo: anotar se a cota de implantação da fundação está igual ao projetado, se o tempo da 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, é um acompanhamento, passo a passo, daquilo que se previu durante o projeto. Sua finalidade básica é detectar, o mais rapidamente possível, fatos que permitem concluir se o projeto que está sendo executado atende ou não às premissas do projeto e, neste caso, disparar todo o processo para readaptação do mesmo. Não confundir controle fundação com registros de eventos da fundação.

### ***Etapas do Controle durante a Execução***

O controle durante a execução de uma fundação deve ser exercido em três frentes distintas, conforme figura apresentada.

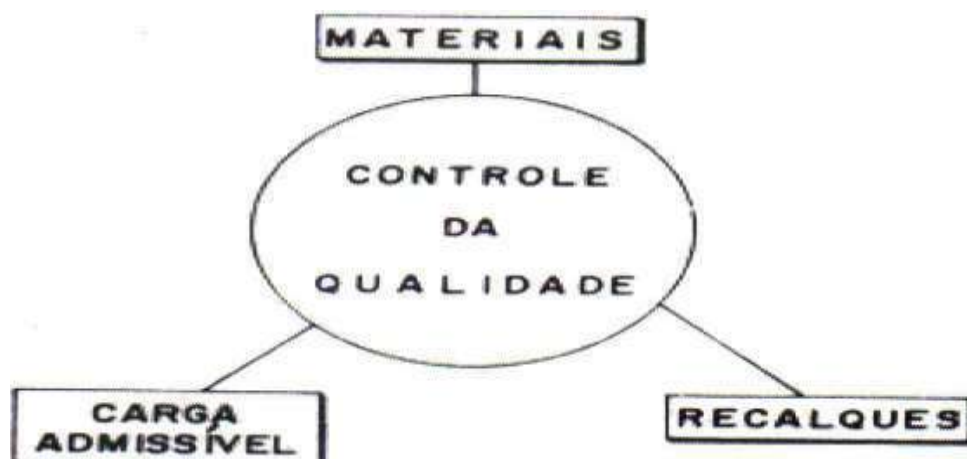


Figura – Etapas do controle de qualidade em fundações. (Alonso, 1991)

**Frente 1:** O controle do material ou dos materiais que compõem 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 compõem a fundação. Se 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 a 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 à 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 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.