Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará | IFCE
Departamento de Construção Civil

Fundamentos de Engenharia Geotécnica
Introdução à Geotecnia

Nota de Aula | Prof. Marcos Porto

1. Geotecnia

Modernamente o termo Geotécnica ou Geotecnia significa o conjunto de ciências da terra, ou seja, daquelas que estudam o solo e a parte superficial do subsolo para permitir a sua utilização "in situ" ou sua exploração. A Geotecnia interessa particularmente aos problemas de Engenharia Civil, das construções, das estradas e das águas subterrâneas pouco profundas. As ciência que compõem a Geotecnia são: Geologia, Mecânica das Rochas, Geologia de Engenharia, Geofísica Aplicada e Mecânica dos Solos, definidas a seguir:

a) Geologia:

Ciência que trata da origem, evolução e estrutura da terra, através do estudo das rochas.

b) Mecânica das Rochas:

Propõe-se a sistematizar o estudo das propriedades tecnológicas das rochas e o comportamento físico dos maciços rochosos.

c) Geologia de Engenharia:

Estabelece uma relação íntima entre a Engenharia e a Geologia, com o emprego dos conhecimentos geológicos para a solução de certos problemas de Engenharia, principalmente nos setores de construção de ferrovias e rodovias, implantação de barragens, abertura de túneis e canais, obtenção de água subterrânea e projetos de fundações.

d) Geofísica Aplicada:

Consiste na aplicação da Física ao estudo das propriedades dos maciços rochosos e terrosos.

e) Mecânica dos Solos:

É o ramo matemático da Geotecnia, pois tem como característica, a aplicação de uma teoria previamente desenvolvida às necessidades de um problema prático. Aplica-se aos solos os princípios básicos de mecânica, incluindo a cinemática, a dinâmica, a mecânica dos fluidos e dos materiais. Vale salientar ainda, que a Química e a Física Coloidal são importantes para justificar aspectos do comportamento dos solos, por isso também fazem para da Mecânica dos Solos.

2. A Mecânica dos Solos na Engenharia Civil

Todas as obras de Engenharia se assentam sobre o terreno e inevitavelmente requerem que o comportamento do solo seja devidamente considerado. A Mecânica dos Solos, que estuda o comportamento dos solos quando tensões são aplicadas, como nas fundações, ou aliviadas, no caso das escavações, ou perante o escoamento de água em seus vazios, constitui-se numa ciência de Engenharia, na qual o Engenheiro se baseia para desenvolver seus projetos. A Figura 01 apresenta algumas obras de engenharia que necessitam de conhecimentos de Mecânica dos Solos.

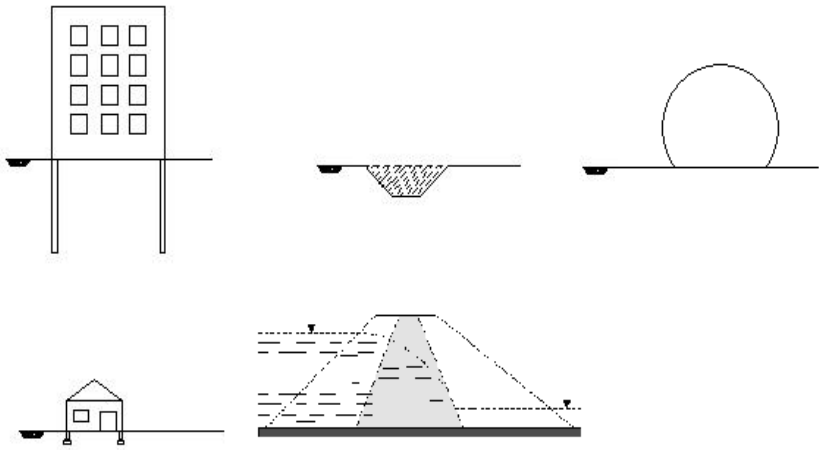

Figura 01 – Obras de Engenharia Civil que utilizam conhecimentos de Mecânica dos Solos.

a) Histórico:

Trabalhos marcantes sobre o comportamento dos solos foram desenvolvidos nos séculos passados:

- Coulomb, 1773;

- Rankine, 1856 e;

- Darcy, 1856;

Entretanto um acúmulo de insucessos em obras de Engenharia no início do século passado, dos quais destacaram-se a ruptura do canal do Panamá e o rompimento de grandes taludes em estradas e canais em construção na Europa e Estados Unidos, mostrou a necessidade de revisão nos procedimentos de cálculo.

Então o Engenheiro Karl Terzaghi em 1936, considerado o grande criador da Mecânica dos Solos, apontou que não se podia aplicar aos solos, leis teóricas de uso corrente em projetos que envolviam materiais mais definidos, como o concreto e o aço. Não era suficiente determinar, em laboratório, parâmetros de resistência e deformabilidade em amostras de solo e aplicar em modelos teóricos adequados a concreto e aço.

Os trabalhos de Terzaghi reconhecidos como marco inicial da então nova ciência, eram constituídos da identificação do papel das pressões na água no estudo das tensões nos solos e a apresentação da solução matemática para evolução dos recalques das argilas com o tempo após o carregamento.

b) Considerações iniciais sobre solo:

Os solos são constituídos por um conjunto de partículas com ar e água nos espaços intermediários (Figura 02). As partículas, de maneira geral, encontram-se livres para deslocar-se entre si. Em alguns casos, uma pequena cimentação pode ocorrer entre elas, mas num grau extremamente mais baixo do que nos cristais de uma rocha, de um metal ou nos agregados de um concreto.

Por isso o comportamento do solo, em diversas situações se afasta do mecanismo dos sólidos idealizados na Mecânica dos Sólidos Deformáveis, na qual se fundamenta a Mecânica das estruturas.

A Mecânica dos Solos poderia ser adequadamente incluída na mecânica dos sistemas particulados (Lambe e Whitman, 1969).

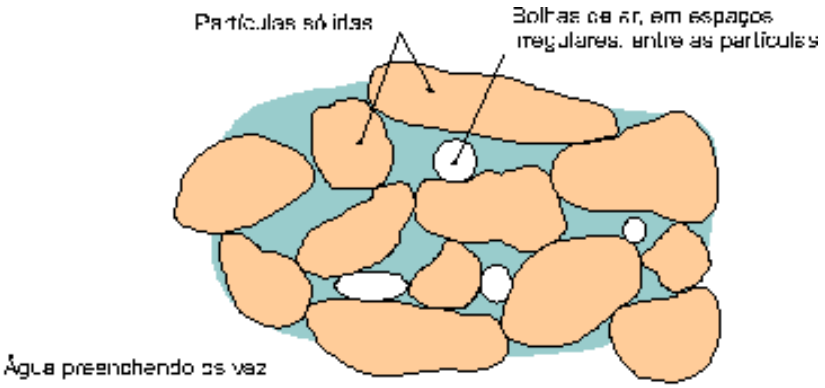

Figura 02 – Composição do solo.

c) Conceito de Obra de Terra:

Denomina-se Obra de Terra toda aquela que utiliza o solo como material de construção. A Figura 03 apresenta exemplos de obras e elementos naturais compostos de terra.

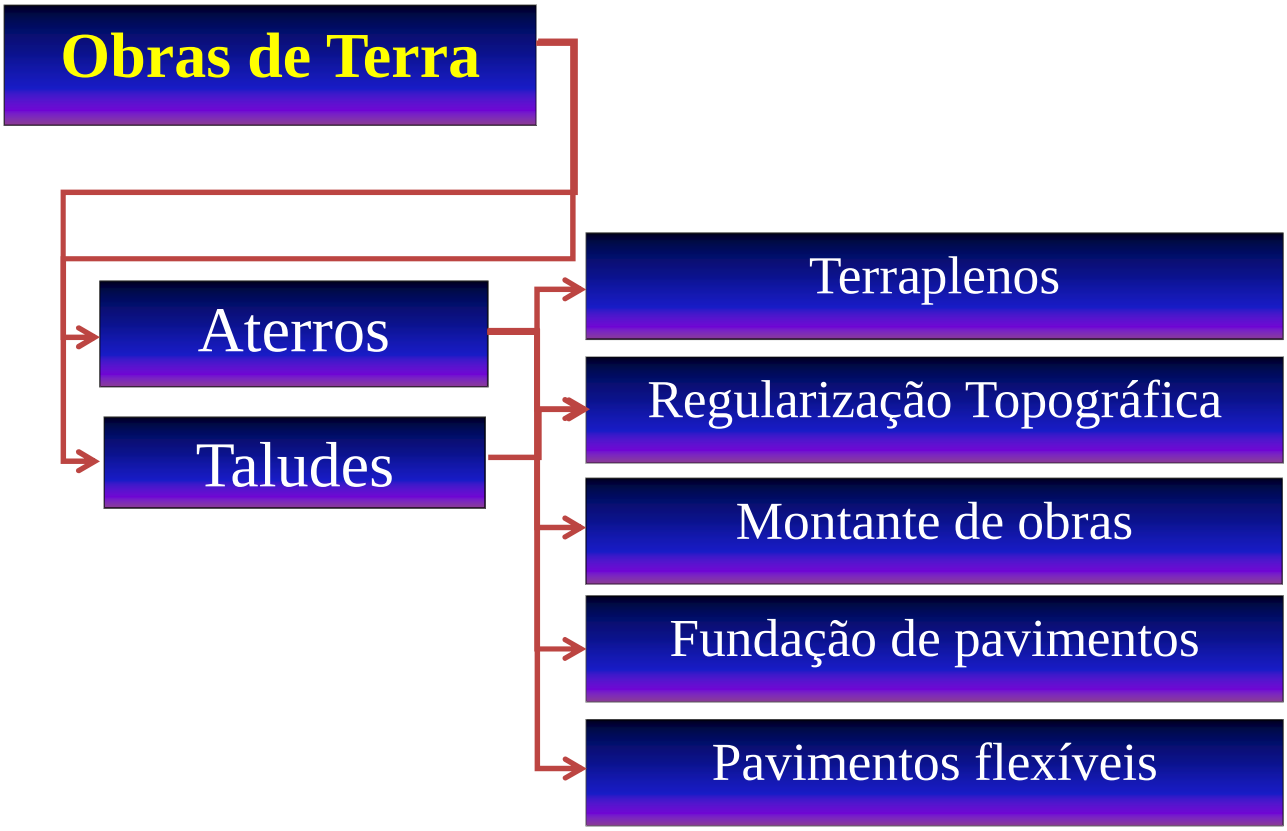

Figura 03 - obras e elementos naturais compostos de terra.

i) Aterros:

Entende-se como aterro um depósito de terra construído pelo homem para atender as mais diversas finalidades.

a) Terraplenos:

São aterros longos e estreitos destinados a suporte estradal, barragens e diques para desviar ou acumular água.

- Suporte estradal:

Para permitir a execução de estradas de acordo com as cotas de projeto (Figura 04).

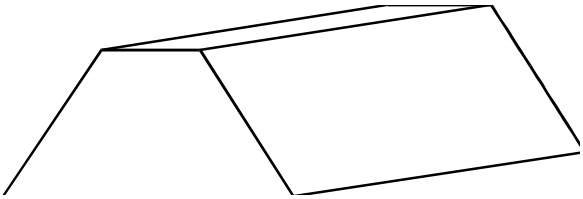

Figura 04 – Suporte estradal.

- Barragens:

Obra artificial construída através de um curso d´água, para acúmulo, controle e desvio de água (Figuras 05, 06 e 07).

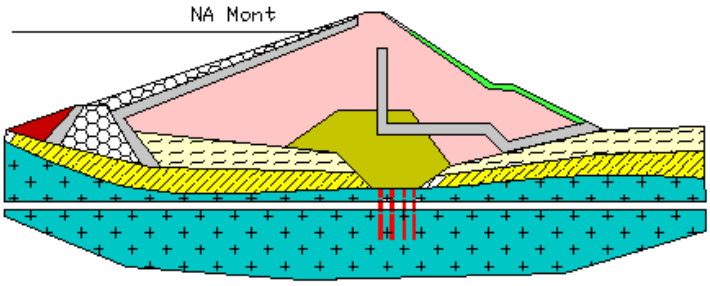

Figura 05 – Seção típica de barragem de terra.

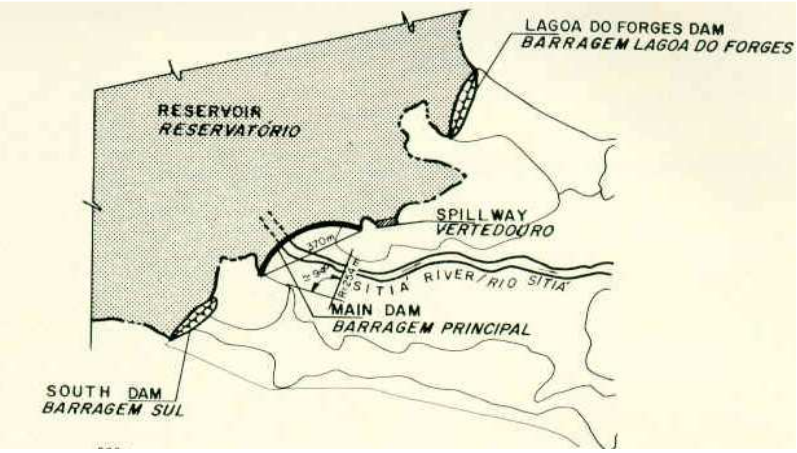

Figura 06 – Planta de barragem.

Figura 07 – Planta da barragem de Cedro-CE.

- Diques:

Obras similares as barragens, geralmente executadas com função de proteção (Figuras 08 e 09).

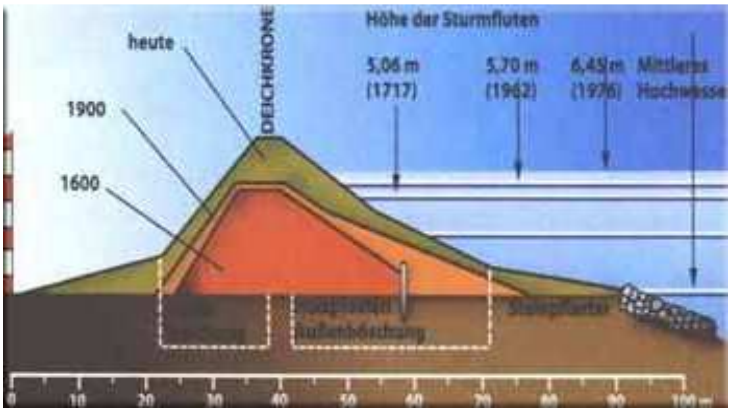

Figura 08 – Seção de dique.

Figura 09 – Dique na Holanda, Abschlussdeich (32km).

b) Regularização topográfica ou elevação do terreno:

O ajuste de cotas entre terreno natural e nível de projeto faz-se necessário:

- Em regiões onduladas para obter-se plataformas (Figura 10);

- Terrenos baixos, para elevar o nível das construções;

Quando adequadamente construídos, podem suportar cargas pesadas, com segurança e recalques compatíveis.

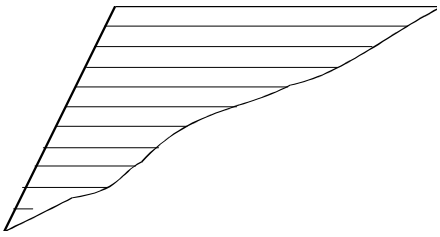

Figura 10 – Seção de uma regularização topográfica.

c) A montante das obras de arrimo:

Preencher o vazio entre o muro e o terreno natural, para configurar a superfície do terreno (Figura 11).

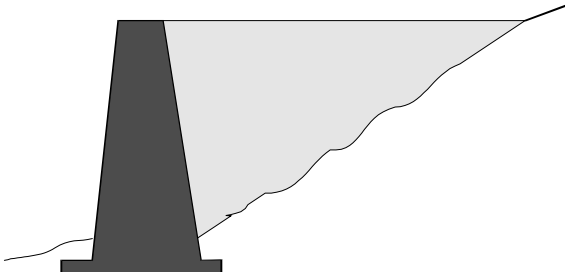

Figura 11 – Aterro a montante de muro de arrimo.

d) Fundação de pavimentos:

Reforço do solo suporte de pavimentos (estrada ou aeroportos) trata-se de um aterro de boa qualidade, mistura selecionada de solo-brita ou brita para funcionar como fundação (Figura 12).

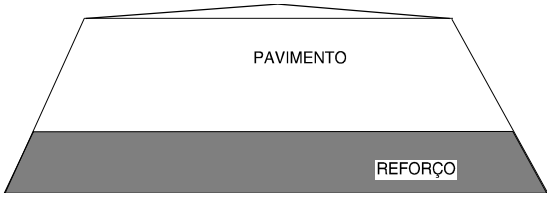

Figura 12 – Camada de reforço em pavimento.

e) Pavimentos flexíveis:

Pavimentos constituídos por diversas camadas de solos compactados, naturais ou modificados por mistura com outros solos ou ligantes (Figura 13).

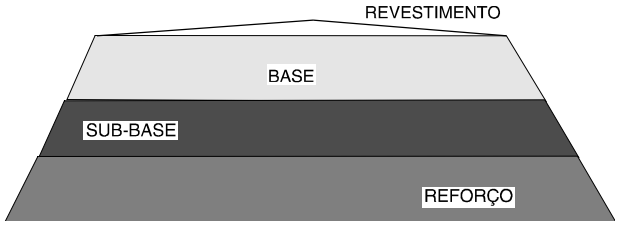

Figura 13 – Pavimento flexível.

ii) Taludes naturais ou encostas:

Qualquer superfície natural inclinada que limita um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha. O entendimento dos aspectos geotécnicos desse elemento natural permite a verificação da estabilidade em diversas situações, assim como o efeito das águas superficiais e subterrâneas, como, por exemplo, erosões e movimentações (Figuras 14, 15 e 16).

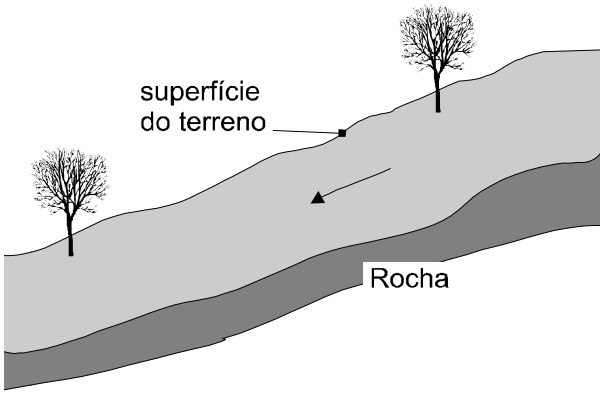

Figura 14 – Talude natural ou encosta.

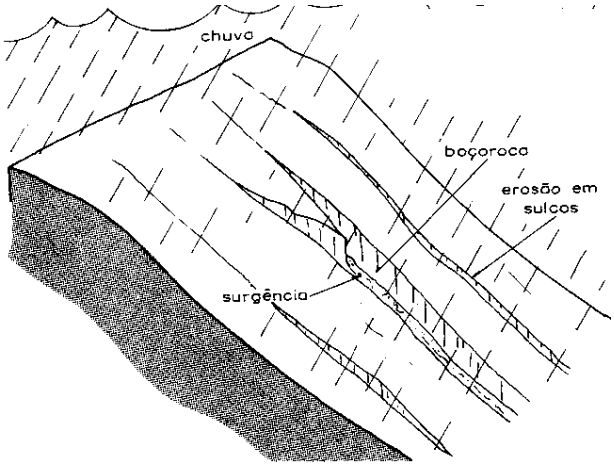

Figura 15 – Encosta com erosão.

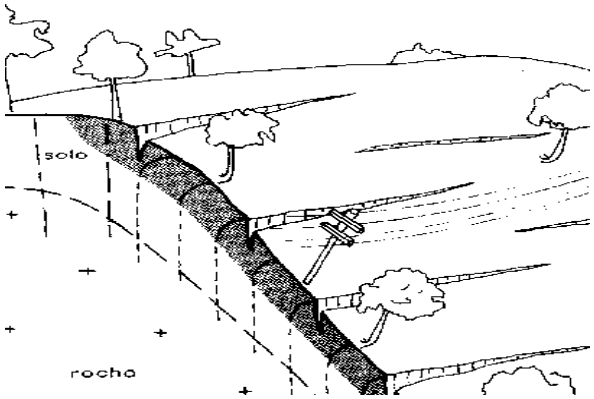

Figura 16 – Encosta e movimentação tipo rastejo.

3. Projetos de Obras de Terra

Os grandes projetos iniciam-se com a detalhada identificação do local. As principais responsabilidades do engenheiro civil são garantir segurança, qualidade e economia da obra. Normalmente e dependendo do objeto da obra, os estudos são realizados por equipe multidisciplinar, que tem a missão de desenvolver os trabalhos de forma bem coordenada e com a perfeita interação entre as diversas áreas do conhecimento envolvidas. A Figura 17 mostra um exemplo das especialidades envolvidas no estudo dos locais de obras de barragens.

Neste contexto a relevância do estudo geotécnico esta relacionada com:

- A variabilidade dos locais de construção;
- A interação da obra com o ambiente e da obra com o terreno;
- A necessidade da compreensão do comportamento do local em relação à obra para obter-se a solução de projeto;
- Custo das investigações.

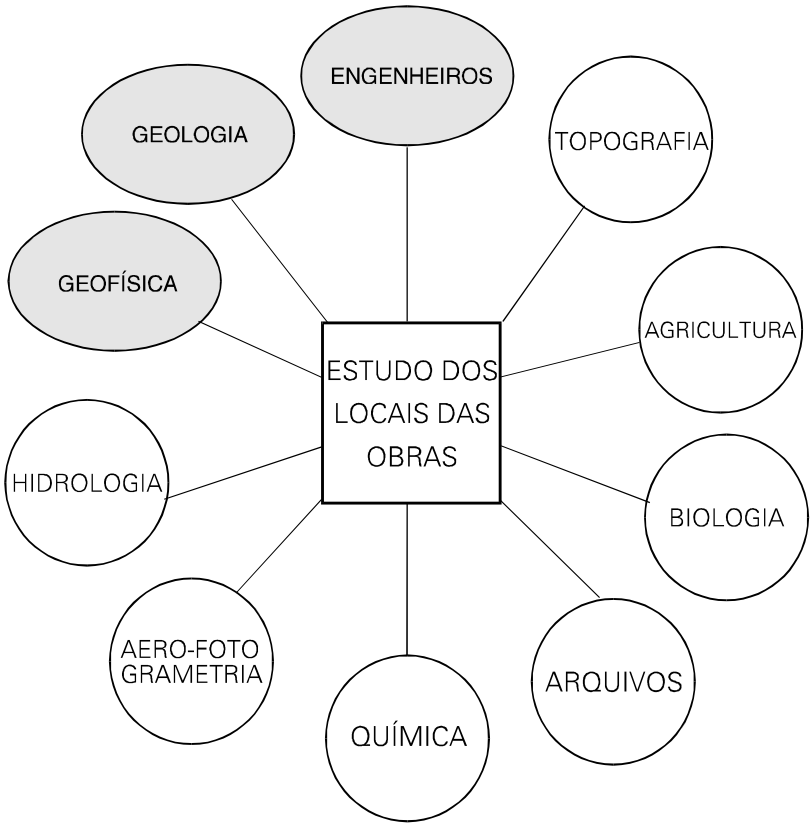

Figura 17 – Especialidades envolvidas no estudo dos locais das obras de barragens.

4. Etapas de Soluções Geotécnicas em Projetos

Qualquer que seja a área da engenharia civil onde pretende-se desenvolver um projeto, ou seja, em que se vá criar ou manter uma construção, o elemento principal deste processo é efetuar previsões. Como exemplos podem ser citadas situações de projeto nas áreas que seguem:

- Hidráulica:

O projetista de estruturas para retenção de água, portos ou "off-shore" depende da previsão da magnitude de cheias ou tempestades, alturas de ondas e velocidade de correntes, as quais os hidrólogos, normalmente, expressam em forma de probabilidade.

- Tráfego:

Projetando uma obra viária o engenheiro escolhe uma vida útil para o projeto e então prevê o nível de tráfego que irá ocorrer no período selecionado, no futuro.

- Custo da construção:

Uma tarefa essencial de qualquer projeto de construção é a previsão de seu custo total para que o proprietário possa decidir se o projeto pode ser mantido, se deve ser alterado ou abandonado. Em edificações esse custo reflete-se no preço de venda, tornando o empreendimento viável ou não.

- Meio ambiente:

As grandes construções tais como, barragens, estações de energia, estradas e condutos podem influenciar, significativamente, o ambiente físico e humano em uma ampla área. Algumas consequências de tais projetos são benéficas e outras refletem problemas para a região.

- Projetos estruturais:

As previsões para os projetos estruturais dispõem, normalmente, de normas que englobam conhecimentos teóricos e empíricos consagrados.

- Projetos Geotécnicos:

O problema relacionado com questões geotécnicas é mais complexo, em virtude da natureza heterogênea e variável do solo. A abordagem do tema de forma puramente teórica, é de uso limitado e a experiência ligada à Geotecnia é fator importante. A Figura 18 mostra as etapas componentes da solução geotécnica em projetos.

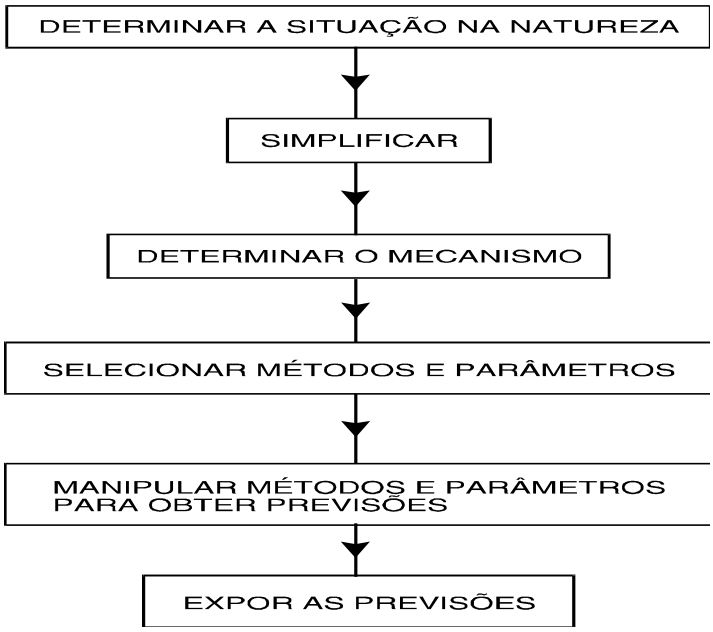

Figura 18 - Etapas da solução geotécnica em projetos

As etapas componentes da anatomia de uma solução geotécnica são descritas a seguir.

i) Determinar a situação na natureza: Por meio de investigações geotécnicas.

ii) Simplificar: Estabelecer um modelo geotécnico do local, para que o problema possa ser tratado de forma científica e serem efetuadas previsões. Este modelo procurará definir:

- Os limites do local: os imediatos, que correspondem à área de implantação da obra e os longínquos, isto é, até onde os fenômenos induzidos pela construção podem ser sentidos e ou medidos.
- Determinação da extensão, profundidade e espessura de massas contínuas de solo cujas características geotécnicas são mais ou menos constantes.
- Valores médios extremos dos parâmetros medidos, para caracterizar o material tipo de cada conjunto, quanto: a compressibilidade, a resistência ao cisalhamento e permeabilidade.
- Informações sobre a ocorrência de água no subsolo: profundidade do lençol freático e suas variações.

- Horizontes rochosos e sua classificação, informações sobre extensão, profundidade, espessura, direção, mergulho e espaçamento de juntas e planos de acamamento, estado de alteração e decomposição.

iii) Determinar o mecanismo: Neste estágio do processo, o engenheiro deve determinar o mecanismo ou mecanismos que envolverão o futuro evento, isto é, a construção.

Como exemplo, apresenta-se, a seguir, o caso de um projeto para execução de um aterro sobre solo mole (Figura 19). Dois mecanismos devem ser considerados: o primeiro, referente à capacidade de carga da argila para suportar o peso do aterro sem romper (Figura 20) e o segundo, as deformações que vão ocorrer, por adensamento da argila (Figura 21).

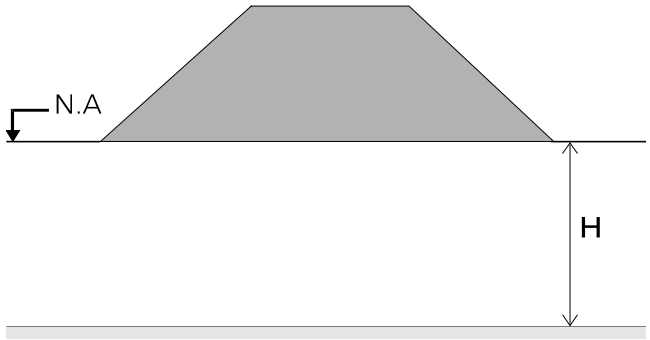

Figura 19 – Projeto de aterro sobre solo mole.

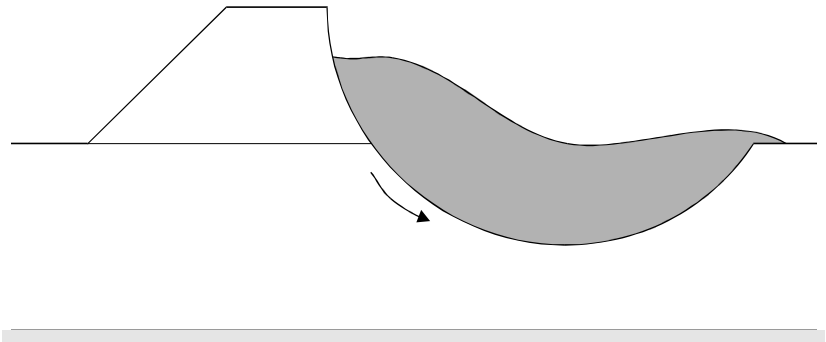

Figura 20 – Mecanismo de ruptura do aterro.

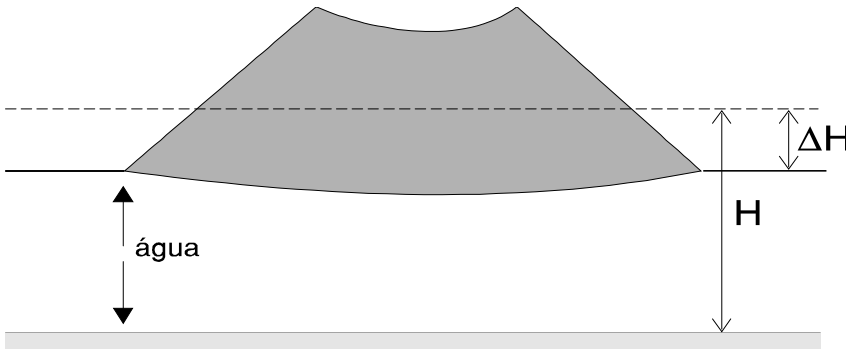

Figura 21 – Mecanismo de deformação por adensamento.

iv) Selecionar métodos e parâmetros: Identificados os mecanismos, são definidas diversas alternativas para o projeto (Figura 22) e torna-se necessário selecionar métodos para efetuar as previsões e a escolha dos parâmetros dos solos envolvidos por esses métodos.

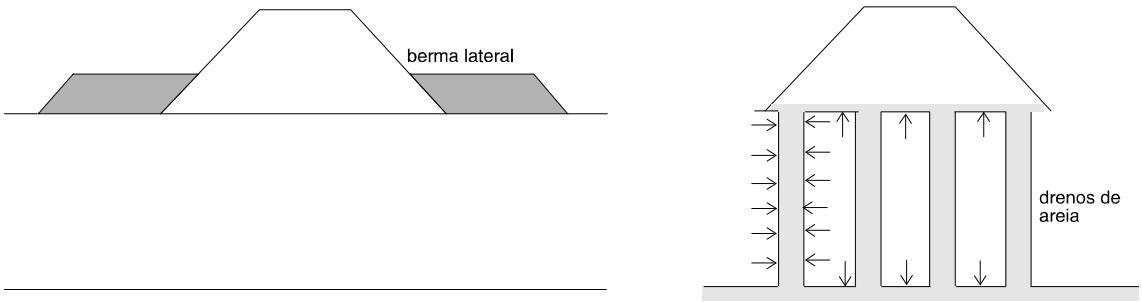

Figura 22 - Soluções para evitar ruptura e acelerar recalques, evitando grandes deformações após a obra.

v) Manipular métodos e parâmetros para obter previsões: Trata-se do desenvolvimento propriamente dito do projeto, em que os parâmetros, obtidos e selecionados na etapa anterior, recorrendo-se muitas vezes a um tratamento estatístico, são introduzidos nas fórmulas dos métodos de projeto.

vi) Expor previsões: O dimensionamento dos elementos constituintes do projeto são representados em plantas e as previsões do comportamento dos solos são traduzidos em gráficos e tabelas que são úteis durante a construção e no acompanhamento, por um certo período de tempo, após a implantação.

5. Serviços relacionados com Geotecnia em obras de Engenharia

Na engenharia civil destacam-se diversos serviços geotécnicos, principalmente na fase inicial da obra, a seguir são apresentados nas Figuras 23 a 66, trabalhos de geotecnia e equipamentos relacionados com obras de estradas, fundações, contenções, túneis, barragens e modelos reduzidos para pesquisas e outras finalidades.

Figura 23 - Desmatamento para início de terraplenagem.

Figura 24 - Terraplenagem-movimento de terra.

Figura 25 – Terraplenagem.

Figura 26 - Umedecimento para compactação.

Figura 27 – Compactação.

Figura 28 - Nivelamento do subleito.

Figura 29 – Controle geométrico de camada de pavimentação.

Figura 30 – Ensaios de laboratório.

Figura 31 – Controle geotécnico de camada de pavimentação.

Figura 32 - Execução de fundação em tubulão com ar comprimido.

Figura 33 – Forma e armadura do tubulão.

Figura 34 – Campânula do tubulão de ar comprimido.

Figura 35 – Campânula do tubulão posicionada na execução.

Figura 36 – Compressor de ar.

Figura 37 – Reservatório de ar.

Figura 38 - Talude protegido por manta plástica.

Figura 39 - Parede de contenção em concreto.

Figura 40 - Parede de contenção em estaca hélice.

Figura 41 - Parede de contenção em estaca-prancha ancorada.

Figura 42 – Contenção em terra armada.

Figura 43 – Execução de Contenção em terra armada.

Figura 44 – Execução de tubulação subterrânea com o método não-destrutivo.

Figura 45 – Cravação do tubo subterrâneo em método não-destrutivo.

Figura 46 – Obra de túnel.

Figura 47 – Escavação de túnel.

Figura 48 – Obras de engenharia em regiões acidentadas.

Figura 49 – Aterro sobre solo mole.

Figura 50 – Execução de aterro sobre solo mole.

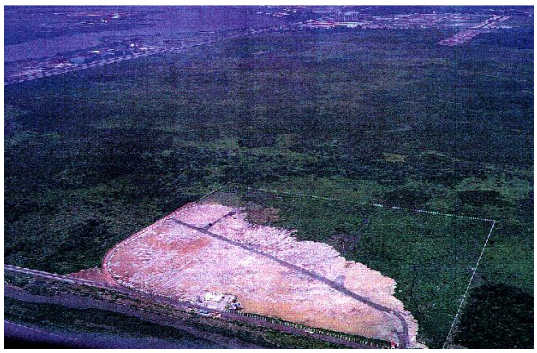

Figura 51 – Obra de aterro sobre solo mole.

Figura 52 – Obra de aterro sobre solo mole concluída.

Figura 53 – Explanada Capixaba.

Figura 54 – Aterro da Explanada Capixaba.

Figura 55 – Vista do aterro do Flamengo no Rio de Janeiro.

Figura 56 – Aterro do Flamengo no Rio de Janeiro.

Figura 57 – Área do Aterro do Flamengo no Rio de Janeiro antes e após a obra.

Figura 58 – Aterro em execução.

Figura 59 – Aterro com drenos para aceleração de recalque no porto fluvial Wismar-Alemanha

Figura 60 – Barragem do Cedro em Quixadá-CE.

Figura 61 - Oroville Dam, California-USA.

Figura 62 - Glen Canyon Dam Arizona-USA.

Figura 63 – Dique na Holanda, Abschlussdeich.

Figura 64 – Monumento em dique no norte da Holanda – 1932.

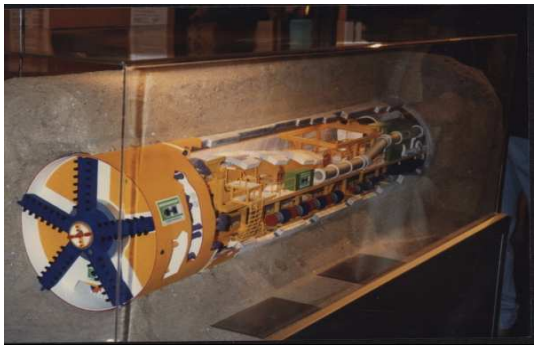

Figura 65 - Máquina para escavar túnel - modelo reduzido.

Figura 66 – Barragem - modelo reduzido para pesquisa.