

4 Investigações Geotécnicas

No desenvolvimento de um projeto de fundações é indispensável o reconhecimento dos perfis dos solos envolvidos e de suas respectivas características geotécnicas. Para tal, são planejadas investigações geotécnicas com respaldo no estudo da hidrografia, orografia, geologia e pedologia da região, conforme apresentado anteriormente.

4.1 Situação

No Brasil, a investigação dos solos para projetos de fundações de estruturas é usualmente feita mediante sondagens que permitem conhecer a variação da resistência do solo com a profundidade através de descrições e índices das diversas camadas. Em projetos de linhas de transmissão, no qual os suportes das mesmas se situam ao longo de grandes extensões e, conseqüentemente, ao longo de uma enorme variação natural dos horizontes e diversidade de solos, a investigação geotécnica em todo traçado torna-se essencial para que as fundações das estruturas sejam dimensionadas com segurança e otimização.

É comum, como procedimento auxiliar às investigações geotécnicas, o uso orientado dos levantamentos pedológicos já existentes para a região em estudo. Apesar de, em geral, somente as indicações dos horizontes superficiais serem apresentadas nos levantamentos pedológicos, pode-se ter uma estimativa dos tipos de solos ou material consolidado que ocorrem em maiores profundidades. É possível obter, por exemplo, o grau de saturação do solo, a profundidade do lençol freático (quando esse ocorre nos horizontes superficiais), as características de drenagem, a granulometria, a plasticidade, entre outras. Enfim, a pedologia pode ser aplicada como uma ferramenta auxiliar das investigações geotécnicas, apresentando as seguintes vantagens (Dias, 1987):

- complementação dos levantamentos geológicos, principalmente em locais onde ocorrem espessas camadas de solos;

- identificação das camadas de solos como horizontes pertencentes a unidades de mapeamento;
- conhecimento dos mecanismos de formação dos solos, através dos processos pedogenéticos e processos geológicos;
- definição com maior precisão, através de métodos padronizados, das características morfológicas dos solos;
- indicação de unidades geotécnicas através das classificações pedológicas em associação às geológicas;
- extrapolação dos resultados de experimentos para outros locais semelhantes de acordo com as unidades geotécnicas;
- e, finalmente, orientação na escolha do universo para o estabelecimento de correlações e índices utilizando-se a estatística para solos de mesma unidade e horizonte.

Normalmente, as investigações geotécnicas envolvem sondagens tipo SPT e, eventualmente, rotativas. Recomenda-se executar sondagens tipo SPT próximas ao piquete central, em todas as estruturas de ancoragem e fim de linha, e em locais tais como travessias de rios, aterros, fundos de vale, alagados, erosões e encostas (Ashcar, 1999).

A CESP (Ashcar, 1999) faz, em média, uma sondagem SPT a cada cinco estruturas e, dependendo do conhecimento da região, essa proporção poderá variar de 1 até 10. Também são executadas sondagens tipo borro em todas as estruturas da linha, exceto nos locais das sondagens SPT/rotativa. A sondagem tipo borro diferencia-se da sondagem a percussão por não utilizar bomba d'água nem barrilete amostrador. As sondagens a trado, os poços de inspeção e a determinação da densidade natural/compactada e da umidade natural fornecem informações de solo que auxiliam os projetos de fundação.

A ELETROBRAS (Ashcar, 1999) sugere que, em uma segunda etapa, após a definição do traçado da LT, sejam realizados os estudos necessários para a obtenção de dados essenciais ao projeto: identificação e classificação do solo, densidade e umidade do solo natural, densidade máxima e umidade ótima do solo compactado, coesão e ângulo de atrito interno, nível do lençol freático, resistividade elétrica, entre outros.

Segundo FURNAS (2003), após a definição e locação das estruturas no campo, as investigações devem ser realizadas em todos esses locais, constando, inicialmente, em terrenos elevados, de sondagens a trado junto ao piquete central de locação da estrutura e da determinação do peso específico natural do solo local. Com base nos resultados das sondagens, selecionam-se alguns locais de cada domínio geomorfológico onde devem ser executadas investigações mais detalhadas. Em geral, são sondagens a percussão e poços manuais para determinação dos pesos específicos naturais a diversas profundidades, e, eventualmente, para a coleta de amostras indeformadas para ensaios especiais, visando à tipificação dos solos existentes e à determinação de outros parâmetros que se julguem necessários para a padronização dos projetos de cada tipo de estrutura a ser utilizada na obra. Em regiões de baixadas, sujeitas a inundações e/ou com nível de água superficial, sugere-se a execução de sondagens a percussão em todos os locais de estrutura. Podem ser programadas sondagens rotativas e/ou mistas em casos específicos, nos quais a importância da estrutura (como a travessia de grandes vãos sobre cursos d'água) e a natureza do maciço de fundação exijam maior detalhamento das suas propriedades para o projeto (como no caso de fundações ancoradas), ou em zona de tálus, com matacões em profundidade.

4.2

Diretrizes para programa de investigações geotécnicas

A escolha do traçado de uma linha de transmissão deve ser orientada por critérios geométricos e geológico-geotécnicos. Os traçados retilíneos são preferíveis por representarem significativa economia em relação ao sistema, mas a opção por uma alternativa de traçado, na qual se minimizem os condicionantes geológicos desfavoráveis, é desejável, pois resulta em custos mais baixos e maior segurança. Torna-se imprescindível, portanto, uma avaliação dos traçados geométricos propostos, dentro do contexto geológico regional, de forma a se diagnosticar os problemas geotécnicos esperados para cada um deles e até propor novas alternativas, geologicamente mais interessantes. Na tabela 4.1 são apresentados os diversos métodos aplicados às diferentes fases, desde a escolha do traçado até os serviços de reparo e recuperação de obras de linhas de transmissão.

Tabela 4.1 – Aplicação da metodologia de investigação geotécnica nas diversas fases de projeto para a implantação de uma LT (ABGE, 1998).

Metodologia	Fases				
	Escolha do traçado	Viabilidade técnico econômica	Projeto	Construção	Conservação
1. Análise dos dados disponíveis					
2. Fotointerpretação					
3. Reconhecimento geológico-geotécnico de campo					
4. Sondagens geofísicas					
- Sísmica de refração					
- Eletroresistividade					
5. Sondagens a trado e poços de inspeção					
- Cortes e aterros					
- Jazidas					
6. Análises químicas (1)					
7. Sondagens a percussão e ensaios <i>in situ</i>					
8. Ensaio geotécnicos e de laboratório					
- Caracterização					
- Especiais (2)					
9. Acompanhamento técnico das obras					
10. Monitoração					

Aplicação usual



Aplicação eventual



(1) Na análise química dos solos, comumente, recorre-se aos levantamentos pedológicos existentes.

(2) Incluem-se, nesse caso, principalmente, as provas de carga.

Essa metodologia, na seqüência considerada ideal para a coleta de informações e evolução do conhecimento, é descrita, brevemente, a seguir:

1. Análise de dados disponíveis

Na fase de estudo de traçado, a obtenção de dados cartográficos, levantamentos aerofotogramétricos e imagens de satélite assumem particular importância. Sondagens e ensaios de laboratório já disponíveis e projetos de escavações, contenções e fundações de obras lineares, como rodovias e ferrovias, ou de preferência, outras linhas de transmissão já implantadas nas mesmas formações, são consultados.

2. Fotointerpretação

A fotointerpretação é importante para a escolha do traçado, mas pode também ser desenvolvida para apoiar os estudos geológicos do projeto das LT's.

3. Reconhecimento de campo

A verificação das informações obtidas na fotointerpretação deve ser feita através da inspeção de afloramentos, barrancos, escavações e taludes, onde é analisado o comportamento das estruturas geológicas e caracterizados os maciços de rocha e solo quanto ao grau de fraturamento, grau de alteração e granulometria. Também devem ser registradas as nascentes de água, zonas alagadiças e a fenomenologia local no terreno natural, como trincas, escorregamentos, erosões, assoreamentos, fenômenos de erosão interna, além de efeitos de eventuais recalques, empuxo de solo e corrosão em estruturas.

4. Sondagens geofísicas

A aplicação desse método de investigação é mais adequada na fase de viabilidade das linhas de transmissão devido ao seu baixo custo e facilidade de execução. No entanto, as informações são obtidas de forma indireta, através de cálculos e inferências, necessitando de aferição por métodos diretos. As sondagens geofísicas são raramente utilizadas nas fases posteriores de um projeto de linhas de transmissão, sendo mais aplicáveis em casos de subestações. Assim, esse método de investigação geotécnica é apresentado, sucintamente no Apêndice A e mais bem explicado na referência correspondente.

5. Sondagens a trado e poços de inspeção

As sondagens a trado e os poços de inspeção são realizados a partir da fase de viabilidade técnico-econômica de um empreendimento. Na fase de projeto e construção podem ser utilizados como apoio, pela sua versatilidade e baixo custo, e na pesquisa de materiais naturais de construção, para cubagem de jazidas e retirada de amostras.

Os critérios para espaçamento dessas sondagens variam com a complexidade da região, fase de estudo do projeto e até mesmo com normas e diretrizes executivas estabelecidas pelos órgãos estatais, baseadas em obras realizadas e estatísticas. Para as fases de escolha do traçado e estudo da viabilidade, recomenda-se a adoção de critérios geológicos que garantam a representatividade das diferentes formações atravessadas, quanto às informações básicas. Nas fases de projeto, considera-se a realização de sondagens nos locais de fundação de blocos de ancoragem em torres de transmissão, complementadas por sondagens a percussão.

Nos furos de sondagem a trado, executados em terrenos de baixa resistência, podem ser realizados ensaios como o ensaio de palheta (*vane test*) para obter índices de resistência ao cisalhamento do solo. Esse ensaio consiste em cravar a palheta no fundo do furo e girar gradualmente, empregando-se um torquímetro, até a ruptura do solo (ABGE, 1998).

6. Análises químicas

Em qualquer fase de estudo podem ser realizadas análises químicas em associação com medidas de resistividade para diagnóstico da agressividade do subsolo. Essas análises envolvem a água do lençol freático, os materiais das fundações e, no caso de sistemas já em operação, amostras de metal ou concreto.

Nas sondagens a trado e poços de inspeção, realizados nas situações mais variadas de geologia, topografia e posição do nível de água, podem ser coletadas amostras de cada horizonte do solo para determinação do pH e umidade natural. Entretanto, para o conhecimento das substâncias químicas existentes no subsolo investigado e sua agressividade, é mais comum recorrer aos levantamentos pedológicos disponíveis.

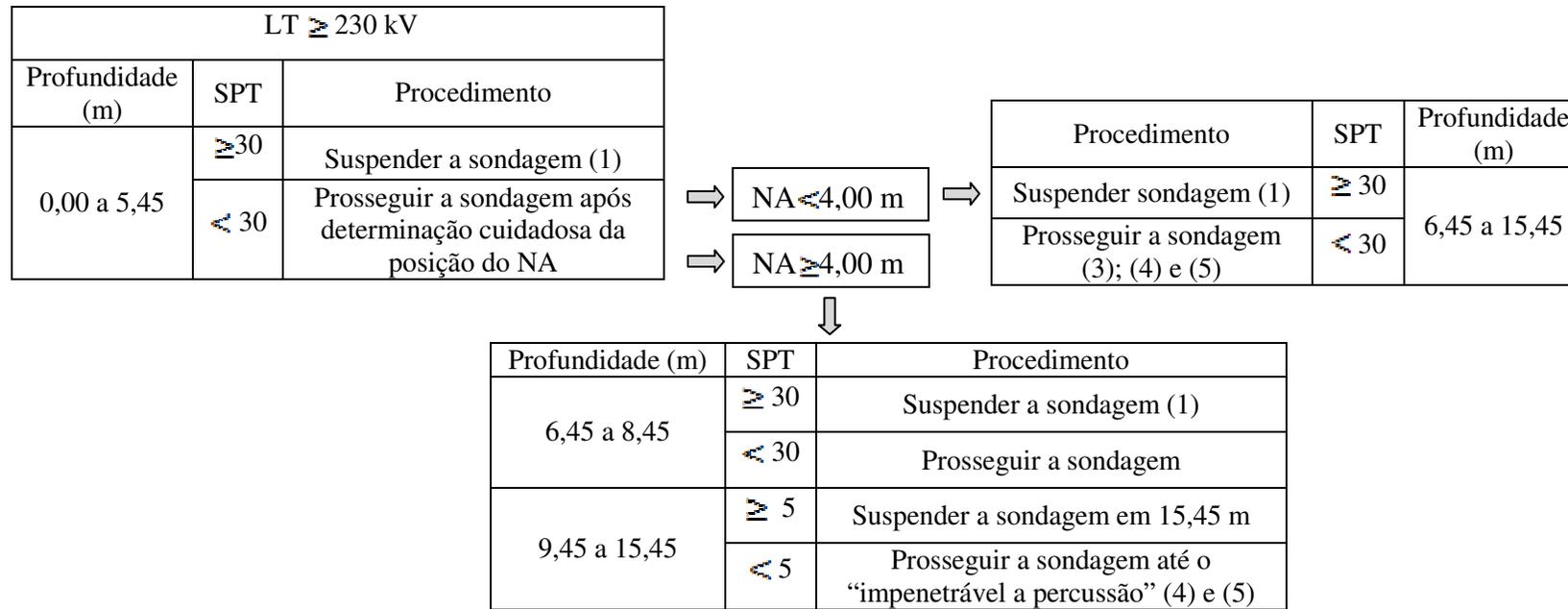
7. Sondagens a percussão

As sondagens a percussão, com ensaios SPT e de permeabilidade, são um tipo de investigação utilizado nas fases de projeto, quando se deseja avaliar com precisão a sua capacidade de suporte e definir a geometria das escavações e os tipos de fundações. Também podem ser utilizadas nas fases de estudo, em nível de reconhecimento, quando se deseja investigar espessuras de solos abaixo do nível do lençol freático ou em outras situações nas quais as sondagens a trado e os poços de inspeção não se aplicam.

Para essas sondagens e seus ensaios, é também recomendado o critério geológico de locação, de maneira a fornecer apenas os parâmetros geotécnicos dos diferentes materiais, cuja disposição e espessuras são determinadas com as sondagens a trado e poços, em número significativamente maior. Para o caso de linhas de transmissão com estruturas em ângulo, sempre se executam sondagens a percussão em função dos esforços maiores e permanentes.

As sondagens a percussão podem ser executadas através do equipamento denominado trado oco (*hollow stem auger*), composto por uma perfuratriz rotativa com martelo automático, sendo o conjunto montado sobre chassi de esteira ou caminhão (ABGE, 1998). Uma de suas vantagens é a execução dos ensaios SPT empregando-se o martelo automático, sem o uso do sistema de lavagem, além de evitar possíveis falhas cometidas pelas equipes de sondagem. Sob o ponto de vista geotécnico, a maior vantagem do trado oco é a cravação estática, em solo residual, de um barrilete bipartido, permitindo recuperar amostras contínuas, preservando as estruturas geológicas de interesse à investigação. Em contrapartida, uma grande desvantagem desse equipamento é a dificuldade da execução de sondagens em locais de difícil acesso.

Em projetos específicos ou quando a sondagem a percussão tem o seu avanço impedido pelo topo da rocha ou matacões, pode ser necessário o avanço pelo método rotativo. Isso pode ocorrer em depósitos de tálus e cascalheiras. Nesses casos, os critérios para distribuição e paralisação dessas sondagens devem ser adequados a cada situação, em função da necessidade do projeto. O esquema representado pela Figura 4.1, elaborado a partir da prática de investigações geotécnicas, fornece uma orientação para a especificação da profundidade máxima de sondagens a percussão.



1. Suspender a sondagem caso seja observado um aumento da resistência com a profundidade, atingindo camada de solo resistente ou rocha (ver observação 2). No caso de dúvida de que a resistência oferecida seja motivada por matacão, verificar através do uso do trépano com circulação d'água se é possível atravessar o trecho, bem como tentar definir com tal procedimento a extensão lateral do trecho impenetrável, executando até quatro furos afastados 2,00 m do furo inicial. Devem ser tomados cuidados especiais pra a definição do subsolo em zona de tálus em que houver matações;
2. Quando for atingido o embasamento rochoso até 3,00 m de profundidade, prosseguir com sondagem rotativa (diâmetro NX ou BX) até obter recuperação maior ou igual a 50% ao longo de 3,00 m consecutivos, limitando a extensão da sondagem rotativa em rocha a um máximo de 5,00 m em cada furo;
3. Caso à profundidade de 15,45 m ainda ocorra solo de baixa resistência (SPT < 5) prosseguir até o “impenetrável à percussão”;
4. Em zona de baixada, em solos fracos (SPT < 5) ou com nível d'água elevado (NA < 4,00 m), parar a sondagem após atravessar camada de areia de 3,00 m ou mais de espessura com SPT maior ou igual a 25. Caso contrário prosseguir até o “impenetrável a percussão”;
5. Em qualquer caso limitar a profundidade máxima da sondagem a 30,00 m.

Figura 4.1 – Esquema para especificação da profundidade máxima de sondagens a percussão.

Para agilizar as manobras de perfuração em sondagens rotativas profundas, emprega-se o sistema a cabo (*wire line*), composto por cabos de aço que possibilitam a introdução ou remoção do amostrador ou equipamento de ensaio *in situ*. Outra opção é uma variante do *wire line*, composta por três tubos, sendo que o mais interno é bipartido e serve para proteger o testemunho. Emprega-se esse tipo de equipamento para obter excelente recuperação de rocha branda ou rocha alterada e muito fraturada (ABGE, 1998).

Assim como nos furos de sondagem a trado, nos furos de sondagem a percussão também podem ser executados, em terrenos de baixa resistência, ensaios como o ensaio de palheta (*vane test*), já mencionado no item 5.

8. Ensaio geotécnicos

Para o perfeito conhecimento das propriedades dos materiais e avaliação do seu comportamento, nas escavações e fundações ou como materiais naturais de construção, são realizados ensaios de laboratório sobre amostras deformadas e indeformadas de solo, coletadas através de sondagens a trado e poços. Salvo raras exceções, esses ensaios são utilizados nas fases de projeto, porque já se tem um diagnóstico geológico de todo o traçado do sistema, conhecendo-se a fenomenologia e os condicionantes intervenientes.

Com amostras deformadas de solo, são realizados os ensaios de caracterização e compactação, que permitem a obtenção da sua granulometria, plasticidade e umidade natural, e a densidade máxima que poderá ser obtida quando da sua compactação em reaterros das fundações.

As amostras indeformadas possibilitam a obtenção da densidade natural e de parâmetros de resistência e permeabilidade, através de ensaios de compressão, adensamento e colapsividade, chamados ensaios especiais. No caso de argilas expansivas, as pressões de expansão também podem ser medidas por ensaios específicos.

Ensaio geotécnicos de campo também podem ser realizados, sendo comum a determinação da umidade natural e o controle da compactação de aterros em construção. Também se realizam ensaios com penetrômetro em fundo de cavas e de densidade *in situ*, antes da definição do tipo de fundação, subsidiando-se o projeto.

9. Acompanhamento técnico das obras

O principal objetivo do acompanhamento técnico das obras de uma linha de transmissão é a garantia de sua qualidade. Um acompanhamento técnico das obras bem documentado, afinado com o projeto, possibilita um diagnóstico preciso de qualquer problema geotécnico que, eventualmente, venha a ocorrer e, após a entrada do sistema em operação, orienta a sua observação e as medidas corretivas a serem tomadas.

10. Monitoração

A inspeção sistemática de todo o sistema de transmissão constitui a forma de controle mais rápida e, em muitos casos, mais eficiente, de monitoração para a prevenção e reparação de problemas geotécnicos. Do ponto de vista preventivo, podem ser detectados rompimentos de linhas, carreamentos de solos de aterros por infiltração, vazamentos, afundamentos, deteriorações e outras evidências de defeitos construtivos ou de manutenção que, direta ou indiretamente, podem afetar as fundações.

Com o avanço da tecnologia, a aquisição de informações técnicas em furos de sondagem passou a ser feita na forma digital, que, além de reduzir o tamanho dos instrumentos, permite o uso de recursos de processamento e interpretação bastante elaborados (ABGE, 1998). Portanto, empregam-se outros métodos e equipamentos nos furos de sondagem das investigações geológico-geotécnicas, além daqueles citados anteriormente.

Em bancos de areia e cascalho, a pesquisa pode ser realizada por meio de varejão ou com sonda manual constituída por um amostrador, denominado sondina, que é introduzido no terreno com sucessivos movimentos de queda livre. A sondina possui, na parte inferior, uma válvula de sentido único, que retém os sedimentos no interior do amostrador.

Amostras pouco deformadas de terrenos argilosos, não muito resistentes, podem ser obtidas por meio de um barrilete especial denominado amostrador *Shelby*. Trata-se de amostrador cilíndrico de parede fina que deve ser introduzido lentamente no terreno; contém uma válvula na parte superior para evitar a queda da amostra no momento de sua retirada.

A resistência à penetração de um depósito de argila ou areia pode ser obtida por meio do cone de penetração contínua (*Cone Penetration Test* – CPT). Em tal ensaio, uma ponteira, formada por um cone padronizado, é introduzida estaticamente no terreno por um sistema hidráulico, sendo a profundidade de investigação de 20 m, em solos argilosos duros ou arenosos compactos, até 40 m, em solos argilosos moles.

Existem outros equipamentos que permitem medidas da pressão neutra (piezocone – CPTU), determinação do módulo de cisalhamento (piezocone sísmico – CPTS), coeficientes de tensões dilatométricos, resistência não drenada de argilas e módulo de Janbu (dilatômetro de Marchetti).

4.3

Conclusões sobre o estudo geológico e geotécnico

Os estudos geotécnicos em grandes extensões lineares envolvendo pequenas profundidades, como nas linhas de transmissão, podem apoiar-se em informações, devidamente interpretadas, de levantamentos pedológicos. As informações de geologia e da topografia, associadas à da pedologia, completam o quadro em que se estabelece uma unidade geotécnica (Dias, 1987). Entre as informações dos perfis pedológicos que podem interessar ao estudo geotécnico das fundações das LT's pode-se citar: espessura dos horizontes, granulometria, condições de drenagem, macroestrutura, lençol freático, presença de minerais expansivos e profundidade de ocorrência da rocha ou de alteração de rocha. Tais informações podem auxiliar na escolha do traçado de uma LT, além de reduzir os ensaios de caracterização dos solos e direcionar melhor as investigações geotécnicas.

4.4

Normatização

As normas brasileiras consideradas aplicáveis em um projeto de linhas de transmissão, principalmente, na fase da investigação geotécnica, encontram-se enumeradas no Apêndice B.