

## INTRODUÇÃO

A região metropolitana de Curitiba situa-se sobre uma bacia sedimentar, que é em sua maior parte preenchida pela unidade geológica denominada *Formação Guabirota*.

Os sedimentos da Formação Guabirota repousam sobre rochas do Complexo Cristalino, e se constituem principalmente em argilas siltosas ou siltes argilosos. Materiais granulares também se fazem presentes, fato que confere uma razoável diversidade aos solos da Bacia de Curitiba. Nas argilas, são típicas as cores cinza – com tonalidade às vezes esverdeada ou azulada – e marrom. Quando os sedimentos sofreram uma ação mais intensa de intemperismo químico, tons vermelhos e amarelos aparecem. A deposição dos terrenos da Formação Guabirota iniciou-se no Terciário (Salamuni, 1998).

Em geral, os solos argilosos da Formação Guabirota possuem como característica marcante uma consistência elevada (rija a dura). Frequentemente, números de golpes do *SPT* na faixa de 15 - 30 são encontrados logo nos primeiros metros de sondagem. Os sedimentos argilosos apresentam superfícies polidas (*slickensides*), que seguem um padrão de difícil identificação. Quando se manuseia o solo, essas feições constituem planos de fraqueza que dividem o material em fragmentos centimétricos a decimétricos. Fraturamentos tectônicos também se fazem presentes.

A consistência elevada das argilas de Curitiba é compatível com o sobre-adensamento exibido pelo material. Valores típicos da pressão de pré-adensamento desses solos situam-se na faixa de 400 a 1000 kPa (Nascimento et al., 1994). Estudos efetuados por Duarte (1986, 1999) apontam para razões de sobre-adensamento da ordem de 17. Há hipóteses que associam o sobre-adensamento da Formação Guabirota a ressecamento (e.g. Duarte, 1986 e Nascimento, 1992) e também à remoção de camadas de solo. Boszczowski (2001) discute uma possível ação de agentes cimentantes.

Entretanto, apesar da compressibilidade reduzida, as argilas rijas e duras de Curitiba possuem características que tornam freqüente a ocorrência de acidentes em obras. Comportamentos inesperados envolvem fundações, escavações e taludes (e.g. Massad et al., 1981).

Quando escavado, o solo em questão pode se tornar potencialmente instável. Não são incomuns acidentes em escavações, envolvendo perdas humanas e materiais. Em obras subterrâneas, cuidados especiais fazem-se necessários para evitar desmoronamentos. Taludes de corte mostram-se instáveis, mesmo com inclinações reduzidas como 1:3 ou 1:4. Em Curitiba e região, estacas escavadas e tubulões aparecem como soluções usuais de fundações. Porém, é comum o desprendimento de blocos de solo, fato que traz sérios riscos à implantação desses elementos. Para reduzir os problemas, na prática local se procede a uma concretagem rápida, tão logo sejam escavados os fustes das fundações.

Resultados de provas de carga sugerem que o desempenho de fundações na Formação Guabirota é disperso – elementos semelhantes podem apresentar comportamentos distintos (e.g. Kormann et al., 1999a; Antoniutti Neto et al., 1999; Russo Neto et al., 1999a).

Entretanto, os problemas não surgem de uma forma generalizada. Há obras que transcorrem normalmente, sem imprevistos. Ainda não se dispõe de informações suficientes para definir se existem áreas específicas, nas quais os riscos – particularmente os relacionados à instabilidade do solo quando escavado – seriam maiores.

As argilas rijas e duras da Formação Guabirota são conhecidas popularmente como “sabão de caboclo”. Tal designação deve-se ao fato do material – que é

bastante duro em seu estado natural – tornar-se liso e escorregadio quando umedecido. Se o solo é escavado e exposto à atmosfera, um processo de ressecamento se manifesta, com a conseqüente redução volumétrica conferindo ao material um aspecto “empastilhado”. O reumedecimento do solo ressecado provoca a sua rápida desagregação, o que favorece o aparecimento de processos erosivos.

Nunes (1979) apontou a ocorrência de solos expansivos na Formação Guabirota. Dados de análises mineralógicas (e.g. Massad et al., 1981; Duarte, 1986 e Mineropar, 1994) permitem caracterizar como sendo predominante um argilo-mineral do grupo das esmectitas, provavelmente a montmorilonita. Na prática regional, atribui-se ao comportamento expansivo da esmectita os problemas verificados nas obras. No entanto, conforme será exposto neste trabalho, mecanismos adicionais estão envolvidos.

Um comportamento do tipo *strain-softening* é condizente com o elevado sobre-adensamento do solo. Adicionalmente, a presença de montmorilonita conduz a uma resistência residual reduzida (Massad et al., 1981, Duarte, 1986). Ensaio de cisalhamento direto com reversão múltipla apontam para ângulos de atrito residuais da ordem de  $10^\circ$ , que contrastam com a condição de pico, na qual o ângulo de atrito resulta aproximadamente  $25^\circ$  (Duarte, 1986).

Apesar da problemática exposta nos parágrafos precedentes, as argilas rijas da Formação Guabirota encontram-se relativamente pouco estudadas. A Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (Núcleo PR/SC) e a Universidade Federal do Paraná promoveram uma Mesa Redonda, procurando estimular publicações sobre o assunto (Kormann et al., 1999b). Uma revisão do material dos anais do encontro sugere que, embora pesquisas estejam em evolução, uma caracterização aprofundada dos solos da Formação Guabirota ainda se faz necessária.

A população atual da região metropolitana de Curitiba situa-se em torno de 2,5 milhões de habitantes. Projeções populacionais para o ano de 2020 apontam um crescimento que resultará em 5,2 milhões de habitantes. O incremento demográfico acentuado está determinando uma intensa ocupação dos espaços, inclusive subterrâneos. Esse quadro mostra a importância de uma melhor compreensão do

comportamento geotécnico dos solos da Formação Guabirota, particularmente das argilas rijas e duras.

Conforme será exposto nos próximos capítulos, os solos da Formação Guabirota possuem características que permitem correlacioná-los com terrenos encontrados em outras bacias sedimentares brasileiras, tais como as de São Paulo (SP), Taubaté (SP), Resende (RJ) e Volta Redonda (RJ). Assim, o estudo da Formação Guabirota deixa de possuir um interesse apenas regional, podendo ser útil também para ampliar o entendimento das propriedades geotécnicas de sedimentos terciários que ocorrem em outros centros urbanos e industriais.

Os objetivos do presente trabalho podem ser resumidos da seguinte forma:

- revisar o estado atual do conhecimento a respeito dos solos da Formação Guabirota, buscando-se entender sua gênese e os aspectos essenciais do comportamento (composição, propriedades índice, história e estado de tensões, resistência ao cisalhamento), no intuito de se identificar as possíveis causas dos problemas geotécnicos e os mecanismos que precisam ser melhor compreendidos;
- dada a disponibilidade de um Sítio Experimental para pesquisa, executar um conjunto de ensaios no campo e em laboratório, tentando-se esclarecer as principais questões levantadas na revisão bibliográfica (origem do sobre-adensamento, possíveis tensões horizontais elevadas, efeitos de escala na resistência ao cisalhamento causados pelo fraturamento do material);
- analisar as informações obtidas experimentalmente, no intuito de se avançar na caracterização do comportamento geomecânico do solo, delineando-se alguns rumos para a continuidade das pesquisas.

O estudo inicia-se com uma revisão dos aspectos geológicos da Formação Guabirota (Capítulo 2). No Capítulo 3, os dados existentes sobre o comportamento geotécnico dos sedimentos são reunidos e discutidos. Uma análise crítica das informações referentes a argilas rijas e duras, disponíveis em publicações internacionais, busca alcançar um melhor entendimento das causas dos problemas associados aos solos da Formação Guabirota. Ênfase é dada ao papel que as tensões horizontais e fraturas podem exercer no comportamento do material.

No Capítulo 4, são apresentados os estudos de campo de uma área experimental com perfil típico da Formação Guabirota, localizada no Centro Politécnico da

Universidade Federal do Paraná, em Curitiba. O Sítio Experimental é investigado com as mais variadas ferramentas, envolvendo-se desde o tradicional *SPT* e abertura de poços até ensaios de cone, dilatômetro e pressiômetro autoperfurante. Os trabalhos de campo avançam no sentido de se estudar efeitos de escala na resistência ao cisalhamento do terreno, conduzindo-se ensaios de carregamento dinâmico em estacas escavadas com diferentes diâmetros.

No Capítulo 5, descreve-se o programa de ensaios de laboratório. A composição e a estrutura do solo são analisadas com técnicas de difratometria de raios-X e microscopia eletrônica de varredura. Ensaios de caracterização permitem delinear as propriedades índice do Sítio Experimental, ao longo da profundidade dos poços em que as amostras foram coletadas. Ensaios de adensamento com solo indeformado e remoldado objetivam reunir dados que auxiliem no entendimento da história de tensões do material. Curvas características obtidas com a técnica do papel filtro complementam esse estudo. Os efeitos de escala avaliados no campo são analisados também em laboratório, executando-se ensaios de cisalhamento direto e triaxiais com amostras de diferentes dimensões.

No Capítulo 6, o universo de informações obtidas experimentalmente é analisado, discutido e comparado com dados da literatura. As principais conclusões, apresentadas no Capítulo 7, permitem avançar no entendimento de alguns aspectos essenciais dos solos argilosos da Formação Guabirota: possíveis agentes de sobre-adensamento, efeitos do intemperismo químico, fatores que interferem no estado de tensões de campo e mecanismos associados à resistência ao cisalhamento. O trabalho conduzido evidencia a necessidade da continuidade das pesquisas, abrindo-se uma ampla gama de possibilidades para novos estudos.

