

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE SOLOS – ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE ENSAIOS DE LABORATÓRIO E ENSAIOS *IN SITU**

Mechanical Properties of Soils – Some Thoughts Concerning Laboratory and *in situ* Tests

por
JOSÉ FOLQUE**

RESUMO – São apresentadas algumas reflexões sobre as perspectivas históricas e a situação actual delas derivada dos dois métodos fundamentais de determinação de características mecânicas de maciços terrosos: ensaios laboratoriais sobre amostras e ensaios *in situ*. As vantagens e inconvenientes de cada método são apontadas. Para os ensaios laboratoriais dá-se relevo aos inconvenientes ligados às perturbações estruturais originadas na colheita das amostras e à necessidade, muitas vezes não satisfeita, de dispor de amostras com dimensões significativas; apontam-se as vantagens de maior versatilidade de condições de solicitação e a possibilidade de efectuar o seu controlo com rigor. No que se refere aos ensaios *in situ* aponta-se a vantagem de poderem às vezes ser menores as perturbações causadas nas condições pré-existent; mas em regra são pequenos os volumes de solo interessados pelos ensaios usuais e o controlo sobre as condições de solicitação é fraco.

Os ensaios de laboratório afiguram-se os mais convenientes para a compreensão da fenomenologia envolvida nos processos reológicos de maciços terrosos; os ensaios *in situ* parecem os mais adequados para a determinação quantitativa das características físicas de um dado maciço. Uma síntese de superação consistirá na observação de casos reais que permita o estabelecimento de factores correctivos de transporte dos resultados dos ensaios para as características existentes *in situ*.

SYNOPSIS – The historical background and the present trends of the two fundamentals methods – laboratory and *in situ* determination of the mechanical properties of soils – are presented. The advantages and shortcomings of each method are discussed. Concerning laboratory tests the more important sources of error are related with the disturbances of samples and the need of a convenient size for a given sample in order to assure the representativeness of the soil mass; on the other hand the conditions of laboratory tests are well known and easy to be changed and controlled with accuracy. Concerning *in situ* tests, in general, improvements are obtained regarding the effects of disturbance;

* Manuscrito recebido em Janeiro 1979. A discussão do trabalho está aberta durante um período de três meses.

** Investigador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

but the volume of soil interested by the test is small, not assuring true representativeness of the properties of the soil mass as a whole.

Laboratory tests seem well fitted to study the phenomenology of rheologic processes of soil masses. *In situ* tests, due to the smaller disturbances involved, are many times the best way to assess the quantitative determination of the mechanical properties of a given soil mass. A surpassing synthesis seems possible performing systematic observations of buildings and soil masses in order to obtain corrective factors for the transfer from test results to actual soil properties.

1 – INTRODUÇÃO

A determinação de características mecânicas de maciços terrosos a partir de ensaios *in situ* é prática antiga e tradicional em Mecânica dos Solos. Melhor dizendo, é prática antiga e tradicional para resolver problemas de engenharia relativos a solos antes de a Mecânica dos Solos se organizar como disciplina de conformação científica. Foi exactamente esta etapa do desenvolvimento da engenharia de solos – a autonomização da Mecânica dos Solos – que veio valorizar, e trazer para uma prática até muitas vezes sobre-avaliada, o uso de amostras para determinar em laboratório características mecânicas.

Assistiu-se então a um quase que descrédito dos ensaios *in situ*, com os laboratórios a “produzir” resultados de propriedades físicas e os utilizadores a aplicá-los, muitas vezes com pouco espírito crítico, geralmente com um suporte, não confessado nem consciente de uma vivência que derivava, na raiz, de certo tipo de experimentação *in situ*. Essa experimentação baseava-se no exame táctil e visual de amostras, no conhecimento da maior ou menor dificuldade do avanço nas sondagens e sobretudo na experiência acumulada sobre a formação geológica em causa e sua resposta às solicitações impostas pelas edificações.

Certas simplificações a que nos ensaios de laboratório se é obrigado, mas sobretudo a dificuldade em obter amostras de boa qualidade, vieram provocar nos últimos anos uma certa reversão às origens: a reputação de melhor adequabilidade dos ensaios *in situ* e consequentemente o recurso cada vez mais intenso a este tipo de ensaios.

Como sempre acontece, nos fluxos e refluxos que caracterizam o progresso, uma metodologia de averiguação que constitua uma superação por síntese deve instalar-se, uma vez que a situação actual não permite suprir as carências no domínio da determinação adequada de características mecânicas: os ensaios de laboratório e os ensaios *in situ* são duas classes de averiguação ambas com cabimento, ambas úteis e com campos de aplicação preferenciais.

Afigura-se de interesse passar em revista a problemática que se evocou e a seu respeito tecer algumas considerações.

2 – A CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UM MEIO “HOMOGÊNEO”

Considere-se uma dada propriedade mecânica de um meio uniforme, reputado portanto como homogêneo. Seja o ângulo de atrito interno de um maciço incoerente. Que significado pode ser atribuído ao significante “ângulo de atrito interno de um maciço homogêneo”? Do ponto de vista do utilizador que pretende, por exemplo, calcular um muro de suporte interessa-lhe conhecer o coeficiente de proporcionalidade *constante* que é suposto existir, no maciço suportado, entre tensão normal e tensão tangencial de ruptura. Admitindo que o ângulo de atrito interno não depende do nível de tensão – hipótese de primeira aproximação que pode ser considerada válida para níveis de tensão não muito elevados – põe-se ainda assim a questão de saber se não haverá variação aleatória espacial da grandeza em causa. Se o maciço se pode classificar como homogêneo assim terá de ser, ou então ter-se-á de renunciar a dar qualquer conteúdo ao termo “homogêneo” neste contexto. Mas por outro lado é óbvio que o coeficiente de atrito entre *duas* partículas não é provavelmente igual ao coeficiente de atrito entre outras *duas* partículas, nem igual ao coeficiente de atrito global entre um conjunto de partículas que desliza em relação a outro conjunto de partículas. Como definir então “coeficiente de atrito do maciço”? Parece ter de concluir-se do exposto que será o coeficiente de atrito médio relativo a um conjunto de partículas, conjunto suficientemente volumoso e extenso para integrar e normalizar as variações aleatórias pontuais. Como se vê está aberto um problema de dimensão do elemento de volume em que se colhe a informação que se toma como válida para todo o maciço. Entre os diversos problemas que existem no domínio da amostragem este não é certamente o menor: qual a dimensão de uma amostra para que ela seja representativa de um maciço homogêneo? Note-se que se o maciço não fosse homogêneo o problema, embora mais complexo, tinha a mesma questionação de base devendo então enunciar-se: qual a dimensão das amostras e o seu número para determinar, com um dado grau de incerteza, os parâmetros da distribuição da grandeza em estudo no maciço?

Tomando outras grandezas de condicionamento físico mais complexo, como a coesão, a compressibilidade, a compacidade, mais patente se torna que a dimensão

da amostra representativa levanta dificuldades apreciáveis, tanto maiores quanto mais complexa for a estrutura do maciço, atingindo repercussões muito elevadas no caso de maciços argilosos duros densamente fissurados (os maciços com fissuração esparsa nem sequer poderão ser amostrados por razões evidentes que se prendem com o facto de o seu comportamento poder ser dominado pela orientação e natureza de uma só fissura).

3 – A AMOSTRAGEM INDEFORMADA DE MACIÇOS

Para solos argilosos de consistência média a moderadamente dura, ocorrentes a pequena profundidade, as amostras obtidas a partir de blocos talhados no fundo de poços são de boa qualidade e constituíram um manancial de informações para a compreensão do comportamento destes solos nas fases iniciais de estudos sistemáticos de Mecânica dos Solos. Continuam a desempenhar um bom papel como origem de dados para a determinação de propriedades mecânicas embora problemas de perturbações estruturais do solo se ponham em relação com as operações de talhe de provetes e sua montagem nos aparelhos de ensaio. Estas perturbações são porém muito menores do que aquelas que derivam da utilização de amostradores, e a elas se somam.

Por razões de economia, para poder aproveitar as sondagens de diâmetro reduzido que eram de realização habitual nas operações correntes de prospecção, os amostradores primitivos eram de pequeno diâmetro. Procurando-se que fossem robustos e baratos adoptavam-se amostradores de parede espessa e geometria simples. Os remeximentos provocados pela cravação destes amostradores são de tal ordem que as amostras obtidas só podem dar indicações qualitativas. Este facto é particularmente acentuado em certos solos difíceis, como as argilas sensíveis. Tem havido progressos na concepção de amostradores: evoluiu-se no sentido de eles serem providos de êmbolo estacionário, de possuírem maior diâmetro, de terem parede fina e de serem dotados de extremo cortante com folgas para minimizar a aderência, interior e exteriores, quando a amostra penetra no tubo porta-amostras. Para solos argilosos rijos evoluiu-se no sentido de adoptar extractores rotativos, com o tubo porta-amostras prolongado para além do cortante protegendo assim a amostra da acção da água de circulação. Outras concepções ainda mais avançadas têm sido adoptadas, como por exemplo o alojamento na ponteira de uma manga de tecido fino, lubrificado, que se desenrola acompanhando a amostra na sua penetração no interior do tubo porta-amostras.

Não se pretende aqui dar pormenores sobre amostradores mas somente chamar a atenção para o facto de que aperfeiçoamentos notáveis têm sido introduzidos. Obviamente que grande parte das alterações estruturais se conseguem evitar mas não existe ainda o amostrador perfeito: por exemplo, para argilas sensíveis há ainda a probabilidade de ocorrerem perturbações apreciáveis; para certos solos, nomeadamente para areias limpas, não se dispõe – a não ser usando técnicas complicadas e questionáveis – de métodos de amostragem indeformada.

Na utilização de amostras de boa qualidade em laboratório ganham outra vez peso as perturbações causadas pelas operações de manuseio na montagem de provetes. Além disso uma alteração há que, como se torna evidente, só por via indirecta poderá ser neutralizada: a remoção da amostra do seu local de jazida liberta-a do estado de tensão a que aí estava submetida.

Resumindo assim, no essencial, o panorama da amostragem pode pôr-se a questão da validade dos ensaios laboratoriais para determinação quantitativa das propriedades mecânicas. É óbvio que a validade é muito reduzida para solos como, por exemplo, argilas rijas fissuradas pois seria necessário, para ter indicações aceitáveis, usar amostras de dimensões incomportáveis. Mas a validade já começa a ser razoável para uma vasta gama de solos que se situam na banda das argilas moles e médias. Contudo, pelas inevitáveis perturbações estruturais a que se tem feito menção, a precisão dos resultados é mesmo assim questionável, sobretudo para características sensíveis, como as características de deformabilidade. E estas ganham hoje um relevo especial pela necessidade de poder dispor de adequadas equações constitutivas para dar sentido às aplicações de métodos numéricos. Tem-se porém conseguido estabelecer factores correctivos de “transporte” dos resultados de ensaios de laboratório para as correspondentes características dos maciços. É assunto a que adiante se voltará.

4 – O PAPEL DESEMPENHADO PELOS ENSAIOS EM AMOSTRAS NO DESENVOLVIMENTO DA MECÂNICA DOS SOLOS

No artigo anterior deu-se ênfase aos defeitos da amostragem derivados de eventual pequena dimensão das amostras e suas alterações estruturais. Deve-se porém sublinhar que os ensaios de laboratório sobre amostras também apresentam consideráveis vantagens. Nomeadamente as condições de ensaio são

claras, quer dizer, conhecem-se com boa precisão os estados de tensão e de deformação; por outras palavras ainda, pode-se aplicar um estado de tensão (ou de extensão) bem determinado e obter com boa precisão a resposta em termos de extensão (ou de tensão). Facilmente se variam as solicitações de tensão ou de extensão. A isto acresce que há boas possibilidades de controlar as condições ambientais (temperatura, humidade) e que os equipamentos são muito mais manuseáveis do que os utilizados para a realização de ensaios *in situ*. Por isso se compreende que os ensaios em laboratório tenham sido a grande fonte informativa para o estabelecimento de uma Mecânica dos Solos teórica. Recorde-se que nos métodos científicos actuais predominam os procedimentos próprios da fase de evolução que, na perspetivação histórica formulada por Milton Vargas (1978, comunicação pessoal), é denominada de “barroca”: conhecimento baseado na experiência organizada a partir de uma teoria prévia. A compreensão dos fenómenos reológicos – dependência funcional de tensão, extensão, tempo – esclarece-se assim indo buscar a experiência de laboratório conduzidas sobre amostras suporte para as teorizações estabelecidas. Não teria sido possível organizar uma teoria de consolidação, ou formular o princípio da tensão efectiva, ou teorizar sobre os coeficientes de pressão neutra, sem experiências de laboratório em que amostras são sujeitas a tensões controladas (com estado de tensão bem definido) e as deformações e sua evolução no tempo medidas com rigor, separando-se por outro lado as duas parcelas da tensão total – a efectiva e a neutra.

Foi assim que se construiu a Mecânica dos Solos como disciplina científica e a compreensão que ela trouxe do comportamento dos maciços terrosos teve utilidade para a solução de casos práticos que parece excusado sublinhar. Contudo, esta linha de procedimento, sobretudo em certa época, associou-se a uma ambição ingénua que levou a insucessos e consequentes desilusões: apostou-se forte na opção de as amostras de laboratório fornecerem indicações quantitativas precisas para a previsão do comportamento de maciços reais. Ora a dificuldade, já apontada, de dispor de amostras realmente inalteradas e ainda a complexidade estrutural dos maciços terrosos quando comparados com as amostras que em laboratório se adequam bem à condução de ensaios de confirmação de teorizações prévias, condenavam esta expectativa a um relativo fracasso. Onde, como refluxo, a reacção de desilusão que levou alguns geotécnicos à posição de subvalorizar os ensaios de laboratório: estes não teriam utilidade, concluíam eles, por fornecerem indicações pouco precisas.

Vai procurar-se com um exemplo esclarecer um pouco mais esta questão.

A teoria de consolidação clássica, formulada por Terzaghi, trouxe uma contribuição para a compreensão do comportamento de maciços terrosos de tal forma eficaz que hoje está presente em praticamente toda a prática decisória no domínio da Mecânica dos Solos. Para organizar a experimentação necessária que confirmou a teorização implicada na teoria de consolidação inventou-se o edômetro. O ensaio edométrico entrou assim na prática dos laboratórios. Mas a teoria de consolidação de Terzaghi é obviamente uma teoria de primeira aproximação e quando se pretende estabelecer previsões quantitativas, de grande rigor, com base no ensaio edométrico e na teoria de consolidação de Terzaghi, necessariamente não se tem êxito. Isto porque a teoria não é suficientemente refinada, porque o estado de tensão no ensaio edométrico é muito diferente daquele que se impõe aos maciços terrosos, por fim, e como factor de maior peso, porque não se dispõe de amostras que conservem as propriedades que condicionam o processo de consolidação ocorrente *in situ*. Donde o ter de concluir-se: a teoria de consolidação de Terzaghi é muito útil para *compreender* (em primeira aproximação) o comportamento dos maciços terrosos quando lhes é imposto um acréscimo substancial de tensão em que predomine a componente volumétrica sobre a distorcional; o seu ensaio suporte, o ensaio edométrico, em amostras pretensamente “inalteradas”, dá indicações muito grosseiras, quer quanto à grandeza dos assentamentos previsíveis, quer quanto à sua evolução no tempo. Note-se que mesmo assim têm uma razoável validade prática; mas muitas vezes essa validade não é suficiente para a solução do problema concreto posto, sobretudo em casos difíceis.

Em resumo e conclusão, o grande papel desempenhado (e aquele que lhes cabe ainda desempenhar) pelos ensaios de laboratório é a compreensão dos nexos causais, dos mecanismos inter-activos causa-efeito, na fenomenologia reológica dos maciços terrosos. Carências que ficaram apontadas, relativas sobretudo às dificuldades de amostragem “perfeita”, impedem que eles possam dar indicações quantitativas rigorosas sobre o comportamento dos maciços reais, embora, em muitos casos, forneçam dados com validade aceitável.

5 – O PAPEL DESEMPENHADO PELOS ENSAIOS *IN SITU* NA PRÁTICA DE ENGENHARIA DE SOLOS

As necessidades práticas que, como ficou exposto, não recebem boa satisfação a partir de resultados de ensaios de laboratório valorizam consequente-

mente o recurso a ensaios *in situ*. Aos ensaios clássicos, do período anterior ao desenvolvimento da Mecânica dos Solos, ensaios que praticamente se limitavam ao ensaio de carga em placa e a ensaios de penetração com dispositivos não normalizados e muitas vezes de recurso, vieram posteriormente juntar-se ensaios com equipamentos muito mais evoluídos.

Um comentário resumido sobre cada um dos tipos de ensaio mais frequentemente realizados ajudará a situar as determinações *in situ* no que respeita ao papel que desempenham na averiguação de características mecânicas de maciços terrosos.

Ensaio de carga em placa – É o mais antigo dos ensaios *in situ* na prática de engenharia de solos o que certamente se deve ao seu carácter de ensaio em modelo de uma sapata. Por isso durante muito tempo aparentou ser uma via adequada para o dimensionamento de fundações. Foi exactamente o aprofundamento e o esclarecimento dos conceitos fundamentais da Mecânica dos Solos que evidenciou os seus pontos fracos. Assim, no que respeita a solos incoerentes, tornou-se patente que a tensão de ruptura depende da dimensão da sapata o que não permite a aplicação directa do ensaio de placa para a determinação da capacidade de carga; a compreensão do parcelamento da tensão total pelas fases líquida e sólida (tensão neutra e tensão efectiva) veio mostrar que o ensaio em placa, para solos pouco permeáveis, não pode informar sobre os assentamentos a longo prazo; o estudo da distribuição de tensões sob sapatas tornou claro que o ensaio de carga só poderia estritamente ser um ensaio em modelo para um solo idealmente uniforme e puramente coesivo. O ensaio de carga, utilizado com discernimento, fornece porém indicações muito úteis, nomeadamente sobre assentamentos imediatos e resistência ao corte não-drenada. Para certos solos, nomeadamente argilas rijas fissuradas, e desde que se utilize placas com dimensões adequadas, é um ensaio que fornece indicações com uma validade que dificilmente se pode obter por outra via.

Ensaio com penetrómetros – Só interessará comentar os dois tipos fundamentais: ensaio SPT e ensaio quase-estático CPT (do inglês “Cone Penetration Test”). O primeiro é um ensaio puramente indicativo, no sentido de que não se dispõe (nem se antevê que seja possível vir a dispor-se) de formulação teórica que dê conta dos fenómenos envolvidos na penetração de um amostrador com a geometria do utilizado num meio terroso. Usa-se portanto como um meio para obter correlações. Estas têm sido muito úteis, nomeadamente para julgar a compactidade de areias (e mediatamente a deformabilidade e ângulo de atrito). Os seus

principais inconvenientes consistem em que muitas vezes a penetração é feita numa porção de maciço perturbada pela abertura da sondagem e em ser pequeno o volume de solo interessado no processo de cravação. De notar que o primeiro dos inconvenientes é muitas vezes agravado porque cuidados de execução que constam da especificação do ensaio são negligenciados.

Quanto ao ensaio CPT é mais fácil estabelecer teorização para dar conta dos fenómenos envolvidos: os que correspondem à cravação e avanço de um cone num meio terroso. Tenha-se porém em atenção que co-existem nesse processo fenómenos de compressão e de ruptura por corte. São por outro lado muito elevados os níveis de tensão junto da ponteira o que conduz a que o processo de corte se dê para tensões que estão muito para além daquelas que se instalam em obras de engenharia civil. Contêm portanto simplificações as abordagens teóricas que permitem deduzir dos resultados destes ensaios o ângulo de atrito interno de solos incoerentes e a resistência não-drenada de solos coerentes. É portanto utilizando correlações empíricas que as suas indicações se afiguram como mais válidas; correlações que dão o ângulo de atrito interno e a compressibilidade de areias, a consistência e a resistência ao corte não-drenada de argilas. No que respeita a inconvenientes, para além dos que se deduzem dos circunstancialismos apontados, há a notar que, tal como no ensaio SPT, é pequeno o volume de solo interessado no ensaio.

Ensaio de corte rotativo – São considerados particularmente adequados à determinação da resistência ao corte não-drenada de solos coesivos moles. A experiência, sobretudo nos países escandinavos em que tem havido muitas oportunidades de comparar os resultados destes ensaios com a resistência ao corte que se pode deduzir da análise de escorregamentos ocorridos em grandes massas de argilas, confirma em certa medida esta asserção. Em todo o caso, factores correctivos têm tido que ser adoptados em função das características plásticas do solo. Para solos em que a resistência exhibe valores que os leva a classificar como solos médios ou duros a perturbação causada pela cravação do molinete provoca alterações estruturais que inviabilizam os resultados. Os principais inconvenientes do ensaio, para além das alterações estruturais mencionadas que mesmo em solos moles ocorrem embora muito atenuadas, consistem em só dar informações sobre a resistência ao corte em facetas verticais e em, tal como nos ensaios mencionados atrás, ser pequeno o volume de solo interessado.

Pressiómetros – Sobretudo nas suas versões mais elaboradas, como por exemplo o “Camkometer”, auto-perfurador e dotado de sensores laterais de grande

sensibilidade, afigura-se um bom equipamento para medir a compressibilidade a curto prazo e para determinar tensões horizontais em repouso (e consequentemente o coeficiente k_0). Apresenta o inconveniente de só medir a compressibilidade na horizontal e de, tal como em outros equipamentos referidos, ser pequeno o volume de maciço interessado pelo ensaio.

Em relação a quase todos os ensaios citados se apontou ser pequeno o volume de solo interessado. Isto leva à conclusão que os ensaios *in situ* mais frequentemente realizados não ultrapassam a necessidade de ser em certos solos imprescindível interessar no processo de averiguação das características mecânicas um volume substancial de maciço. Este requisito implica ensaios com montagens especiais, como por exemplo ensaios de corte *in situ* sobre blocos de grandes dimensões. Trata-se de montagens caras, de muito difícil manuseamento, com operação complicada e morosa; por isso só em casos especiais se têm realizado, em obras de muita responsabilidade interessando solos de difícil estudo, como acontece com argilas rijas fissuradas ou certos solos de transição de rocha.

Em resumo, muito frequentemente os ensaios *in situ* são utilizados como fonte de informação pela via de fornecerem propriedades-índice, propriedades estas que por sua vez são *correlacionadas* por via empírica com características mecânicas, assim se obtendo as grandezas necessárias para abordagem teórica dos problemas.

6 – A NECESSIDADE DE UMA SÍNTESE DOS PROCESSOS DE DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

A ponderação das vantagens e inconvenientes de cada uma das categorias de ensaio – de laboratório e *in situ* – torna patente o interesse de compatibilizar as suas virtudes e potencialidades. Há vantagem em poder aproveitar dos ensaios de laboratório a sua versatilidade, boa definição das condições de solicitação, facilidade de leitura dos “observáveis”, riqueza informativa sobre os processos reológicos envolvidos, baixo custo, relativa facilidade de execução. Os ensaios *in situ* oferecem a vantagem de menores perturbações estruturais na porção de maciço submetido a ensaio. Nem uma nem outra das duas categorias de ensaio, nas versões correntes e práticas, ultrapassa a dificuldade de, em certos solos, ser pequeno o volume dessa porção de maciço.

O recurso à observação sistemática de obras, mais intensa e organizada do que é habitual, e sobretudo a realização de ensaios *in situ* interessando volume elevado dos maciços – ensaios de carga em placas de grandes dimensões explorando as “respostas” dos maciços até à ruptura, ensaios de corte sobre blocos de grandes dimensões, ensaios com macacos de grande superfície no interior de galerias – poderão fornecer factores correctivos que possibilitem o transporte dos resultados dos ensaios, quer de laboratório quer de campo, para os valores dos parâmetros definidores das propriedades mecânicas dos maciços.

Um trânsito conveniente seria estabelecer uma rede de correlações que interligasse as três categorias de grandezas: resultados de ensaios de laboratório correlacionados com resultados obtidos *in situ*; cada um deles correlacionado com a correspondente característica real do maciço.

Esta parece ser uma linha de actividade que a situação actual da averiguação das características mecânicas dos maciços terrosos recomenda que se adopte.

7 – UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Em relação à área de Lisboa, mas com interesse que se considera generalizável a zonas com formações semelhantes, apresenta-se um programa das investigações que se consideram prioritárias.

Argilas terciárias

– Compressibilidade:

a) – Estudo sobre amostras colhidas em bloco das características de compressibilidade, a curto e longo prazo, por meio de ensaios edométricos e de compressão triaxial com trajectórias de tensão impostas. Identificação das amostras: limites de liquidez e plasticidade, teor de humidade, índice de vazios, aspectos estruturais (fissuração e seu espaçamento).

b) – Idênticas determinações conduzidas sobre amostras colhidas com amostrador Denison.

c) – Ensaios de carga em placa circular de 1 m de diâmetro.

d) – Observação dos assentamentos de edifícios, ou outras estruturas adequadas, fundadas directamente nestas argilas.

– Resistência ao corte:

e) – Determinação das características de corte nas amostras referidas em a) e b).

f) Ensaios de corte *in situ* sobre blocos prismáticos com $1 \times 1 \text{ m}^2$ de secção.

Lodos do estuário do Tejo

– Compressibilidade:

g) – Estudo das características de compressibilidade em amostras colhidas com amostrador Osterberg por meio de ensaios triaxiais e ensaios edométricos com contra-pressão. Identificação das amostras: limites de liquidez e de plasticidade, teor de humidade, índice de vazios.

h) – Determinação de compressibilidade *in situ* usando pressiómetros (Camkometer). Determinação de tensões horizontais ao longo de furos verticais.

i) – Ensaios de carga, efectuados na margem do rio, com placas de 1 m de diâmetro.

j) – Observação de aterros de pequena altura, que não induzam portanto substanciais tensões tangenciais, para medição dos seus assentamentos a longo prazo.

– Resistência ao corte:

l) – Determinação das características de corte das amostras mencionadas em g).

m) – Determinação da resistência ao corte *in situ* por meio de ensaios de corte rotativos e ensaios pressiométricos.

n) – Determinação de características de corte levando à ruptura os ensaios de placa referidos em i).