

## DISCUSSÃO DO ARTIGO

### «Resistência ao cisalhamento de um depósito de argila mole» (\*)

do Eng. Francisco Pacheco Silva.

pelo Dr. Victor F. B. de Mello

Foi com muito interêsse, que estudamos o artigo do prezado colega, Eng.<sup>o</sup> Francisco Pacheco Silva, que interpreta uma série extensa de ensaios de compressão simples executados em amostras de argilas moles, cinza-escuras, da Baixada Fluminense. Embora a interpretação destes resultados tenha seguido de perto um desenvolvimento de idéias apresentado por Skempton, solicitamos vênua para discutí-la, a favôr da técnica, discordando um tanto do seu ponto de vista.

Não discutimos os fatos apresentados, ou seja: 1) que o ângulo de atrito interno será provavelmente  $\phi = 28^\circ$  e 2) que a resistência à compressão simples aumenta sistematicamente em proporção com a profundidade (fora da influência de secamento) no presente caso, que diz respeito a um depósito de argila mole normalmente adensada. Porém o método de interpretar estes resultados parece-nos ser um pouco radical em certos pormenores, levando a conclusões de ordem teórica e prática, com que não estamos inteiramente de acôrdo. Assim sendo, resumiremos a seguir nossos pontos de vista cabíveis neste assunto.

1) Conforme explicação do autor, uma amostra no início dum ensaio de compressão simples esteve sujeita a dois estados de adensamento; o primeiro, representado por pressões efetivas  $\sigma_1$  e  $\sigma_{III}$  onde  $\sigma_{III} = 0,8\sigma_1$ ; e o segundo pelas pressões efetivas  $\sigma_1 = \sigma_3 = 0,9 \sigma_1$ . O autor parte do princípio de que ambos estes estados resultam no mesmo índice de vazios; e, prosseguindo sua interpretação dos resultados dos ensaios de compressão simples, pressupõe que em relação ao desenvolvimento da resistência ao cisalhamento o primeiro estado não representa um estado de pré-adensamento em comparação com o segundo. Admitimos a regra geral aproximada de que a resistência ao cisalhamento é função direta e quase exclusiva do índice de vazios. Porém, parece-nos que ambas as hipóteses em que se baseia o autor necessitariam de confirmação experimental no segundo grau de aproximação, especialmente em se tratando de argilas indeformadas com «estrutura».

2) O autor se baseia na hipótese que após o processo de retirada e extração da amostra e manuseio do corpo de prova, a pressão

(\*) Publicado no Vol. I, 1951, dos Anais da A.B.M.S.

efetiva  $\sigma_3$  persiste integralmente. É nosso parecer que tal não acontece. A amostra sofre algumas pequenas deformações e um tanto de amolgamento, (em relação à «área ratio» do amostrador, «recovery ratio», etc.), inchamento (em relação à «inside clearance»), inchamento interno pela re-distribuição da água intersticial devido ao amolgamento superficial na extração e moldagem do corpo de prova..., enfim, são inúmeras as razões pelas quais a pressão capilar do corpo de prova não pode ser equivalente à pressão  $\sigma_3$ . Convém lembrar, além disto, em relação ao ensaio de adensamento, que na parte inicial da curva de inchamento, em geral não é necessário haver um grande aumento do índice de vazios para que a pressão efetiva se reduza consideravelmente.

3) A pressão total  $\sigma_3$  num ensaio de compressão simples evidentemente é nula. Portanto se o gráfico, fig. 4, apresenta círculos de Mohr de pressões totais, é porque o autor pressupõe que o ensaio de compressão simples será equivalente a um ensaio triaxial no qual seria inicialmente aplicada uma pressão da câmara igual à tensão capilar. Note-se, que, em geral, esta equivalência representa uma aproximação.

4) A envoltória de Mohr de ensaios rápidos, em relação a pressões totais, não deverá ser traçada tangente aos respectivos círculos. Teoricamente, o único proceder válido será unir o ponto de ruptura de cada círculo aos demais. Convenhamos, no entanto, que a tangente representa uma aproximação satisfatória.

5) De qualquer modo, é singularmente interessante o valor de  $\phi_R$  determinado pelo autor na fig. 4. As modificações que este valor sofrerá em referência aos quesitos acima formulados, provavelmente não serão grandes, tendendo alguns a aumentá-lo e outros a diminuí-lo. Como então encarar este resultado? Achamos que os seguintes itens abrangerão os fatores mais importantes a serem considerados no caso:

- a) em parte consideramos que o alto valor de  $\phi_R$  seja devido a um certo efeito de pré-adensamento. Este efeito se explicaria principalmente através de quatro influências: a primeira referente ao item (1) mencionado acima; a segunda, o fato de que uma certa coesão (medida pelo deslocamento da envoltória acima da reta  $s = \sigma \operatorname{tg} \phi$ ) persiste em certos casos até pressões da ordem de 10% maiores do que a máxima pressão de pré-adensamento, fato este estabelecido por muitas séries de ensaios triaxiais e de cisalhamento direto; a terceira, a reconhecida influência de carregamentos muito lentos durante o adensamento; e a quarta, a observação experimental no laboratório, de que existe um certo efeito «secundário» pelo qual uma argila adquire uma resistência ao cisalhamento um tanto maior quando permaneceu em equilíbrio sob determinadas pressões efetivas por maior período de tempo.

Em vista destas nossas opiniões, sentimos grandemente a falta, na apresentação do autor, de uma série de ensaios triaxiais rápidos-adensados que permitiria a dedução, para fins de comparação, do valor tí-

pico de  $\phi_a$  do modo geralmente empregado. Parece-nos que o valôr de  $\phi_a$  assim determinado será inferior ao valôr de  $\phi_R$  deduzido pelo autor.

b) as relações deduzidas a partir da representação simples esquematizada da Fig. 2 dependem fundamentalmente da existência de termos de íntima comparação entre o ensaio lento e o ensaio rápido-adensado (\*). Entretanto, não será necessário relembrar o fato que em argilas indeformadas não existe semelhança nenhuma de comportamento nesses dois ensaios, mormente no caso de argilas ativas e sensíveis, sendo as duas curvas de tensão-deformação fundamentalmente diferentes. Sentimos grandemente a falta de uma curva típica tensão-deformação, pois dependendo do tipo de ruptura a pressão neutra pode de fato ser muito pequena no momento que corresponde ao desenvolvimento da máxima resistência ao cisalhamento. Por exemplo, admitindo um comportamento típico de amostra indeformada com «estrutura» em ensaio rápido-adensado, supomos que o desenvolvimento da máxima tensão cisalhante  $\tau_{\max}$  corresponda ao estado de aproximadamente 2% de deformação específica, isto é, provavelmente muito antes do desenvolvimento de  $\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3 \max$  (vide o artigo precedente dos mesmos Anais). Assim sendo, que comparação de ordem teórica podemos fazer entre ensaios lentos, que são adequadamente representados pelo critério de resistência de Mohr, atingindo ruptura num estado simultâneo de  $\tau_{\max}$  e  $\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3 \max$  (em geral com deformações específicas maiores que 10%), e os correspondentes ensaios rápidos-adensados, quando não conhecemos o fenômeno de «estrutura» e sua relação ao critério de resistência de Mohr? Talvez fosse o ponto de  $\tau_{ult}$  da curva tensão-deformação do ensaio rápido-adensado muito mais apropriado para comparação com o ponto de ruptura do ensaio lento, e infelizmente os aparelhos de tensão controlada nunca atingem êste ponto.

Enfim, consideramos plausível a hipótese de ser a pressão neutra muito pequena no estado de  $\tau_{\max}$  de ensaios rápidos-adensados de argilas indeformadas com estrutura. Mas discordamos do raciocínio empregado para deduzir a magnitude desta pressão neutra, pois uma argila decididamente muito ativa e não pouco sensível foi analisada como se fosse um pó de pedra. O autor sem dúvida concede que se os

(\*) Após devida consideração chegamos à conclusão que é preferível chamar ensaios rápidos-pré-adensados somente os ensaios em que o adensamento inicial não é normal, isto é, representa um grau de pré-adensamento por representar pressões efetivas menores do que as máximas atingidas pela argila no seu passado. O uso do prefixo "pré" somente para indicar que o adensamento é prévio ao início do cisalhamento, será logicamente desnecessário, uma vez que é especificado o ensaio rápido, sem drenagem. Note-se que em inglês nos referimos aos ensaios "consolidated quick" e não "preconsolidated quick".

ensaios rápidos tivessem sido executados muito mais rapidamente os  $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$  poderiam ser grandemente aumentados; nestas condições obteríamos um  $\phi_R > 28^\circ$ . Podemos então deduzir que a pressão neutra será negativa?

6) Interpretando os resultados apresentados pelo autor através da Fig. 5 sob o ponto de vista teórico que visa esclarecer o comportamento intrínseco da argila, seríamos levados a imaginar uma séria contradição devida à representação simplista da resistência ao cisalhamento das argilas. Extrapolando a curva empírica desta figura, cairíamos em contradição, especialmente se empregássemos a denominação  $\phi_R$  adotada pelo autor em vez do  $\psi$  empregado por Skempton. Então um solo com um limite de liquidês muito alto teria um  $\phi_R$  (que diz o autor ser equivalente ao  $\phi_a$ ) também muito alto enquanto sabemos que provavelmente o seu  $\phi$  verdadeiro, medido pelo ângulo do plano de ruptura, deverá aproximar-se de zero (vide Skempton, Proceedings II<sup>nd</sup> International Conference Soil Mechanics, Rotterdam, Volume I, página 72). Evidentemente somos levados a supor que numa argila muito ativa, o conceito de atrito intrínseco desaparece sendo substituído por um conceito de coesão intrínseca que felizmente continua a manter uma relação de proporcionalidade com a pressão efetiva através da relação que a liga ao índice de vazios e este à pressão efetiva. Portanto, a representação  $s = \sigma \operatorname{tg} \phi$  deixa de ter alguma relação a comportamento intrínseco, mantendo, nem por isso, sua utilidade prática.

7) Concluindo a presente discussão, portanto, consideremos os resultados obtidos e a sua representação em relação à prática. Qualquer que seja a conclusão relativa aos itens acima, o fato é que toda análise de estabilidade envolvendo o depósito de argila mole seria teoricamente baseada na resistência a cisalhamento existente sem acréscimo nenhum devido a cargas aplicadas ( $\phi = 0^\circ$ ). Em caso simples, a resistência a cisalhamento seria considerada como uma coesão. No presente caso, sendo esta «coesão» variável com a profundidade a representação desta variação por uma equação facilita a análise. Esta relação podia ser

nada mais do que a constante  $\frac{c}{p} = \alpha$ . Por outro lado, podemos preferir representá-la por uma relação do tipo  $c = Kp = \operatorname{tg} \phi_a$  ou enfim,

por  $\psi = \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left( \frac{c}{c + p} \right)$  usada por Skempton. Note-se porém que, evi-

dentemente, preferimos manter tôdas estas equações em relação à pressão  $p$ , ou seja  $\sigma_I$  do autor, pois esta é a única pressão que na realidade conhecemos, mórmente posto não haver vantagem nenhuma na mecânica da análise de estabilidade em relacionar  $s$  a  $\sigma_n$ . Neste mesmo sentido, ressaltamos ser muito mais lógico relacionar  $\phi_a$  às pressões de adensamento, isto é,  $c = \sigma_a \operatorname{tg} \phi_a = \sigma_I \operatorname{tg} \phi_a$ .

Considerando a aplicação dos resultados apresentados desejamos indagar do autor se foi obtida alguma relação consistente de  $\tau_{ult}$  para com a profundidade (pressupondo ensaios de deformação controlada)

uma vez que na análise prática de estabilidade a hipótese de ruptura progressiva deveria ser levada em consideração através do  $\tau_{ult}$ .

Por fim, desejamos indagar do autor se na solução dos problemas que ocasionaram os estudos relatados foram empregados piezômetros para a medida de pressões neutras na argila. Em caso contrário, consideramos inexplicável o pronunciamento «poder-se-á tomar o ângulo  $\phi$  da Fig. 4 como ângulo de atrito interno verdadeiro, sendo o erro a favor da segurança». Não compreendemos que interêsse teríamos, na prática, em determinar o ângulo de atrito interno verdadeiro dum depósito espesso de argila mole muito impermeável. Em qualquer análise de estabilidade não poderíamos usar o ângulo de atrito interno verdadeiro se não fossem conhecidas as pressões neutras. Entretanto, o autor indica que não hesitaria em determinar o valor desse ângulo a partir da disposição do plano de ruptura. Nestas condições, achamos inexplicável o interêsse do autor em determinar, através de interpretação de ensaios de compressão simples, um valor conservador para o ângulo de atrito interno verdadeiro, quando esses mesmos ensaios forneceriam um valor aproximado para este ângulo sem complexa interpretação, e quando esse valor teria aplicação restrita na prática.