

CORRESPONDÊNCIA

ASSENTAMENTOS ADMISSÍVEIS

(H. NOVAIS-FERREIRA, Geotecnia n.ºs 18 e 19, Novembro 76 a Março 77)

Comentários por VICTOR F. B. DE MELLO

O extenso e valioso trabalho de Novais-Ferreira sobre o assunto de assentamentos admissíveis merece uma menção inicial do mais grato louvor por documentar a especialidade no mundo da língua portuguesa com uma das melhores sínteses internacionais até o presente, sobre o tema que mais directamente condiciona a maioria dos projectos de fundações e de obras subterrâneas profundas. Em nossa limitada experiência cabe, porém, reconhecer que um tal trabalho corre grandes riscos de ser citado e usado em situações e contextos muito diferentes e mais amplos do que os colimados pelo ilustre autor. Permito-me portanto submeter algumas ponderações restritivas, em forma de afirmações sucintas, pelas quais antecipadamente me desculpo sob a ponderação de que explicitá-las redundaria na elaboração de um trabalho e não de uma discussão escrita.

1. Friza o autor que “A previsão de assentamentos sai fora do âmbito do presente trabalho”: realmente exclue apreciação de métodos de previsão, mas não a discussão em termos de “assentamentos previstos”. Se assim fosse, postulo que o trabalho teria que ser mais apropriadamente intitulado “Apreciações sobre danos oriundos de assentamentos diferenciais observados”: isto porque o título “Assentamentos admissíveis” nos parece redundar inexoravelmente no conceito de um exame prévio, para previsão do que irá acontecer, e portanto da aceitabilidade ou não do previsto. Parece-me porém, que de facto algumas indicações oferecidas pelo autor realmente englobam “receitas” referidas à estimativa de recalques: portanto, se ficarmos com o valioso conteúdo do texto, cabe frizar, conforme pretendi no Relatório do Estado-da-Arte “Foundations of Buildings in Clay” (México, 1969), a diferença intrínseca e inexorável entre recalques diferenciais estimados na prática da engenharia de fundações, e os

recalques diferenciais associados a fissuramentos sofridos por edifícios que tenham sido realmente observados.

Logo no item 1.1. ao considerar as funções que os engenheiros estruturais e geotécnicos exercem em compartimentos estanques distintos, o autor atribui a designação genérica “Assentamento admissível”, à “deformabilidade máxima” calculada pelo engenheiro geotécnico: cabe frizar que as cargas fornecidas pelo engenheiro estrutural soem ser as de “apoio fixo”, ou, o que equivale, as de estrutura totalmente flexível perante recalques diferenciais (estrutura na qual não ocorre deformação diferencial do apoio equivale aquela na qual se ocorrer tal deformação diferencial não ocorre alteração de tensões e cargas). Assim, a deformabilidade máxima geralmente calculada pelo engenheiro geotécnico só poderia associar-se ao caso de uma estrutura totalmente flexível. Acontece porém que uma estrutura só sofre fendas pelo fato de não ser flexível nem “infinitamente rígida” (ex. chaminé, silo), e, sendo parcialmente rígida, por sofrer deformações diferenciais que ipso facto geram redistribuições de tensões e das “condições reais de carga”. Portanto, em qualquer edifício em que ocorreram fissuras associadas a recalques diferenciais, o recalque diferencial previsto em fase de projecto nunca (mesmo que deterministicamente “correcto”) terá condições de equivaler ao recalque diferencial medido, de limiar de fissuramentos aceitáveis.

Postulo portanto que (a) sempre está implícita, em qualquer método de projecto e cálculo de fundações, alguma “prática corrente” de previsão de recalques associada a erros, consistentes e erráticos (histograma estatístico); (b) na decisão de engenharia sempre está implícita a comparação de uma previsão com uma colectânea de experiência (estatística) do “fissuramento inaceitável”; (c) para não compararmos abóboras com maçãs ou frangos, seria indispensável sempre introduzir um “coeficiente de ajuste” em função da “rigidez” (bem declara o autor no item 3.3. “o engenheiro de fundações deve avaliar a rigidez relativa do edifício e proceder em conformidade”, mas até o presente ninguém o declara ter feito correntemente a contento), de forma que obviamente *se uma estrutura observada aceitou um recalque diferencial de 1:200, o projecto corrente respectivo poderia ter aceite, digamos, 1:120.*

2. Não sei se podemos encontrar apoio à afirmação do autor de que em solos argilosos os assentamentos (suponho de fundações directas rasas) sejam “mais fáceis de prever”. De qualquer forma, parece-me que a intenção seria referir-se

a recalques de adensamento de camadas normalmente adensadas profundas e de espessura homogénea (essencialmente segundo o modelo mental de Terzaghi). Também não julgo que se possa justificar a afirmação generalizada “nos solos arenosos o assentamento calculado vem afectado de maior erro relativo” e “para fundações em areias, o assentamento é relativamente errático etc. . . .”. Neste segundo caso obviamente estamos considerando o que no Brasil temos procurado chamar de “recalques directos”, isto é, recalques de cada sapata em função de seu próprio “bulbo de pressão”: e, conforme bem salienta Peck (puerto Rico, 1971) a *receita da pressão admissível* estabelecida pelo método de Terzaghi e Peck (pretendendo limitar recalques diferenciais de edifícios comuns pré 1946) foi baseada numa concepção de areias muito erraticamente depositadas em cursos fluviais turbulentos e “eskers”. Não há nada de errático nem de heterogéneo, na granulometria, na compactidade, nem nos recalques de fundações, nos casos da maioria das areias de Santos ou de Copacabana, uniformemente depositadas e retrabalhadas milhares de vezes pelas ondas do mar. Em resumo, portanto, receitas de dimensionamento oferecidas (mesmo por Terzaghi) estão sempre restritas a determinado contexto, geológico, estrutural, etc.

Voltando ao caso das argilas cabe ressaltar que é provavelmente até mais corrente o caso de “recalques directos” de sapatas apoiadas sobre argilas pré-adensadas do que o caso clássico académico de “recalques profundos” de argila normalmente adensada. E, neste particular segundo procurei demonstrar no supra-citado trabalho (Mello, México 1969) a receita de pressão admissível de Terzaghi-Peck falhou a partir do conceito, por basear-se exclusivamente em coeficiente de segurança perante rotura, só podendo ser válida para carregamentos rápidos, ou em casos de argilas de bem baixa plasticidade.

3. Retornando ao problema levantado em meu item 1(a) acima, consideremos primeiro uma estrutura idealmente flexível (ex. tanque de aço para armazenamento líquido) por um lado, e outra extremamente rígida (ex. chaminé ou silo de concreto armado) por outro lado. A que ponto é que em dado estágio de nosso desenvolvimento geotécnico chegamos a uma cadeia de práticas de sondagem-amostragem-ensaio-extração de parâmetros de cálculo – emprego de método de cálculo-ajuste do resultado calculado, que nos fornece cálculos estatisticamente confiáveis para tais casos simples? Tal cadeia se e quando ajustada, tem que continuar a ser respeitada como nominal, *útil em ciclo fechado*: se um elo da cadeia for alterado, mesmo que para melhor em tese

geral, pode resultar um desajuste na conclusão final. Por exemplo, se investigações mais meticulosas demonstrarem na argila normalmente adensada de Santos a existência de um efeito de “quasi-consolidation” de tempo (Leonards-Bjerrum), o emprego do novo conhecimento “correcto” provocará um desajuste no total da cadeia de cálculo, sendo temporariamente nocivo; assim também se nos cálculos de recalques diferenciais abandonarmos a prática corrente do uso do modelo de Boussinesq-Newmark para passarmos a empregar a distribuição de tensões segundo o modelo de Westergaard.

Portanto, em primeiro lugar temos, associado a cada ciclo fechado de cálculo, algum coeficiente de correcção de recalque previsto-para-real, para os tipos ideais de estruturas, flexível e rígida. Assim é que tenho sugerido (Hong-Kong, 1972 e Geotechnique, em publicação) que os cálculos de recalques em saprolitos e em aterros argilosos compactados, baseados na aplicação directa de ensaios edométricos sobre corpos de prova talhados de blocos indeformados geralmente chegam a valores médios cerca de 3 a 4 vezes maiores do que os observados. Segundo tal linha de raciocínio merece interesse especial o trabalho de Schultze (Tóquio, 1977) analisando estatisticamente os recalques calculados (segundo teorias correntes diversas) e observados, de centenas de edificios (estreitos e muito altos, essencialmente rígidos). Por outra via, menos frutífera, ainda determinística e sem os necessários pormenores sobre amostras e ensaios, assinala-se por exemplo a tentativa de Domaschuk e Valliappan (1975) em comparar o caso de um tanque flexível.

Finalmente, relembrem-se os trabalhos de Hain e Lee (1974) e de Brown (Sydney, 1975) que começando com casos-limite de infinitamente rígido e absolutamente flexível, mostram como estimar flexibilidades relativas de radiers reais, mostram as diferenças significativas de resultados obtidos usando o modelo convencional de Winkler e um modelo linear-elástico de interacção estrutura-radier-solo, e demonstram claramente que com “flexibilidades relativas” variando entre limites realísticos, *as distorções angulares de recalques diferenciais resultam da ordem de 1/2 a 1/3 das que seriam calculadas para um caso estritamente flexível.*

Assim, por exemplo, de uma série de dados tais como os de Bjerrum (1963) plotados segundo a Fig. 8 do autor, todos relativos a recalques observados, temos que entender que as “estruturas rígidas” de Bjerrum eram estruturas *parcialmente rígidas*. Ademais, a comparação directa pretendida por Bjerrum, de parâmetros complexos, máximo assentamento e máximo assen-

tamento diferencial, não tem nenhuma possibilidade conceitual de ser válida, ou merecer empregar-se salvo com referência ao contexto específico, infelizmente insuficientemente explicitado (áreas carregadas de edifícios, profundidade de topo e base da argila, condição de pré-adensamento da argila conforme óbvio e bem salientado por Leo Casagrande, (1964) etc.). Continua a só interessar precipuamente o máximo assentamento diferencial específico, faltando portanto a informação quanto à distância entre pontos de recalque máximo e mínimo (geralmente a metade da diagonal do edifício, para recalques típicos em tijela). A principal informação generalizável a extrair da Figura de Bjerrum é que dentro da gama de recalques máximos de 2 a 45 cm a rigidez parcial dos edifícios considerados reduziria recalques diferenciais (e diferenciais específicos) em proporção essencialmente constante, da ordem de 1/3 do recalque (real) da estrutura flexível (Mello, 1969).

4. Não entendo que informação terá levado o autor a mencionar que “contrariamente ao que é geralmente aceite, os efeitos de um assentamento lento não são grandemente diferenciáveis dos de um assentamento rápido”. Os comportamentos dos materiais são indiscutivelmente mais friáveis sob acções rápidas, mas tudo depende da escala de rápido para lento, e da quantificação do “grandemente diferenciáveis”. Todavia, o ponto principal reside no facto de que o limiar de preocupação por fissuramentos é subjectivo, psicológico. E, segundo a nossa longa experiência em construções urbanas, inclusive grandemente intensificada nos últimos sete anos em função da construção dos Metros de São Paulo e do Rio de Janeiro, as preocupações de todos os ocupantes dos edifícios são acentuadamente maiores quando a fissura se alastra visivelmente. Tal preocupação seria de se esperar entre leigos. Friso todavia que dela não escapam nem sequer os profissionais, mesmo declaradamente especializados.

5. No tocante a orientações baseadas no “aparecimento da primeira fenda visível”, tomo a liberdade de sugerir referência a minha Rankine Lecture (1977) salientando os aspectos da estatística dos extremos (teoria do elo mais fraco de Weibull, etc.) e da frustração inexorável associada à instrumentação e observações referidas a “rotura” e “início de rotura”; etc. Para os casos de edifícios julgo que embora reconhecendo com grata admi-

ração as contribuições dos grandes mentores Terzaghi-Peck (recalque diferencial), Skempton e MacDonald (distorção angular) e Bjerrum (influência da rigidez parcial), é chegada a hora de se pôr de lado as “receitas” sugeridas em função de dados precariamente colectados, e partir para uma colecta de dados realísticos do universo estatístico de comportamentos médios (essencialmente conforme sugiro na Rankine Lecture com relação a Índices de Satisfação para inclinação de taludes).

Para tanto *o que interessa é medir Δ (fissura) em função de Δ (recalque diferencial)* para fissuras já definidas, relativas a movimentos interpretáveis dos pilares contíguos. Tenho sugerido que observações associadas a a recalques provocados por Metros são particularmente proveitosas pois a “condição inicial” do edifício é “fixa” (universo estatístico fixo) embora desconhecida. Reconheçamos que as condições iniciais (tensões internas, etc.) são sempre desconhecidas e sujeitas a grande e errática heterogeneidade, em função de práticas de projecto e de construção, efeitos ambientais, etc., etc.: portanto, a primeira fenda pode não configurar nada de específico nem relevante, e as grandes discordâncias de experiências resultam inevitáveis porquanto as formulações partiram de um universo estatístico variabilíssimo (todo o campo “internacional” de “edifícios”, no qual, porém, as cidades do México e de Santos, entre outras, não configuram) e da quimérica estatística dos extremos do “início de fissuramento” registrado a posteriori como constatado. Mesmo no caso de determinado Metro tem-se medido intensa e extensamente os recalques de “todos” os pilares de edifícios contíguos, para no fim nada se concluir, na floresta de dados.

Tenho sugerido, e torno a sugerir que com muitíssimo menor custo colectaremos informações muito mais proveitosas, desde que comecemos por reconhecer que o “início” do fissuramento realmente nem preocupa nem interessa, nem tem probabilidade técnica de ser estatisticamente proveitoso. No entanto, todo e qualquer ocupante de um edifício é inescapavelmente um observador gratuito do “início de fissuramento”: o que necessitamos é imediatamente a seguir passar a medir os incrementos de movimentos dos dois pilares do vão respectivo e relacionar tais observações com o alastramento da fissura. Se desejarmos criar condições de registro inicial mais sensível, nada mais simples e económico do que previamente criar “fusíveis” nas paredes: com autorização dos proprietários, paredes de alvenaria podem ser previamente sulcadas em V para redução local de secção, reenchidas de gesso e restituídas ao acabamento original.

O que impede a adopção de uma tal política de observações realísticas? Justamente a existência das “receitas” publicadas, que dão impressão de que o problema está adequadamente definido, “por autoridades internacionais”.

Ademais, em vez de singularizar a “fundação” como único nível de interesse de observações de assentamentos diferenciais, deveríamos realizá-las simultaneamente em diversos pavimentos, assim obtendo num universo estatístico insofismavelmente constante (o edifício em observação) dados de variações Δ (fendas) contra variações Δ (assentamentos diferenciais) conforme influenciados pela redistribuição da rigidez parcial real em jogo. Mencionou-se o interesse preferencial por observações associadas a Metros por motivo do relacionamento causa-efeito mais directo e de curto prazo: nada obsta porém a realização das mesmas observações em casos de edifícios em construção, desde que reconheçamos que perante aceitabilidade de recalques diferenciais o que interessa é a observação de Δ (fissuras) em função de Δ (recalques diferenciais) logo após “acabado” o edifício. Recordemos que o enfoque de observações de recalques tem sido outro, conceitualmente bem errado, pelo pretenso interesse em comprovar a nossa capacidade de estimar recalques. Sempre que comprovassemos a equivalência, em edifícios estaríamos ipso facto comprovando termos sido beneficiados com a sorte de um erro compensado.

6. Finalmente permito-me enfatizar que se por um lado grandes são as reformulações necessárias em casos de edifícios, ainda maiores o são as interpretações correntes dadas a uma tabela tal como a de Bjerrum (Fig. 5 do autor) no caso de fundações de máquinas. São indiscutivelmente apertadas as exigências (1:1000 e mesmo até 1:5000) quanto a *movimentos de apoios de máquinas* em muitas máquinas sofisticadas modernas. O importante, porém, é que há uma grande *distinção entre o apoio da máquina, e a fundação do bloco de apoio da máquina*, tanto no tocante a cargas como relativo a cronograma de construção civil e de montagem mecânica da máquina. Só interessa à máquina os recalques diferenciais incrementais posteriores à sua instalação (admitida fixamente chumbada ao bloco). Onerosíssimos projectos de fundação de blocos têm resultado pelo simples facto de que se tem procurado aplicar os critérios da máquina à fundação do bloco (geralmente desproporcionalmente pesado e rígido), e ainda assim os “insucessos” frequentemente não puderam ser afastados. Em tais casos, mediante um pouco de compreensão mútua entre o engenheiro da máquina, o estrutural, e o geotécnico, resultam frequentemente fáceis os

projectos em que o cálculo da fundação é orientado no sentido de restringir o Δ (recalque) correspondente ao incremento de carga da própria máquina. Em resumo, peço vênha apenas para advertir contra os frutos frequentemente lamentáveis de receitas e tabelas, mal utilizadas, não obstante terem sido oferecidas sob as melhores intenções.

7. Finalizando, reitero os cumprimentos ao autor pelo trabalho, embora lamentando não terem merecido a sua atenção no assunto as minhas observações do Relato-Geral do Estado-da-Arte de Fundações, México 1969: e, através da presente discussão tomo a liberdade de advertir os leitores contra o eventual mau uso das receitas oferecidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – CASAGRANDE, L. – “Effect of preconsolidation on settlements”. ASCE. vol. 90, SM5, p. 349. 1964.
- 2 – BROWN, P. T. *et al.* – “Piled-raft foundation design”. Proc. Symposium on Raft Foundations, Sydney, p. 13. 1975.
- 3 – DOMASCHUK, L. e VALLIAPPAN, P. – “Nonlinear settlement analysis by finite element”. ASCE, GT7, p. 601. 1975.
- 4 – HAIN, S. J. e LEE, I. K. – “Rational analysis of raft foundation” ASCE, GT7, p. 843. 1974.
- 5 – MELLO, V. F. B. – “Foundations of buildings in clay”. State of the Art Report”. Proc. 7th. Int. Conf. SMFE, Mexico, Special vol. pp. 49/136. 1969.
- 6 – MELLO, V. F. B. – “Thoughts on soil engineering applicabe to residual soils. Proc. 3rd. Southeast Asian Conf. on Soil Eng. Hong-Kong, pp. 5/40. 1972.
- 7 – MELLO, V. F. B. – “Reflections on design decisions of practical significance to embankment dams”. 17th. Rankine Lecture, Geotechnique vol. 27, no. 3, pp. 279/355. 1977.