

UM ESBOÇO DA HISTÓRIA DA MECÂNICA DOS SOLOS (IV)

An outline of the History of Soil Mechanics (IV)

por
JOSÉ FOLQUE*

4.2 — O Congresso de Paris (1961)

Foi o primeiro dos Congressos Internacionais de Mecânica dos Solos em que Terzaghi não participou. Disso o impediu o seu já então precário estado de saúde. Viria a falecer menos de dois anos depois.

Já ficou dito que o Congresso de Londres (1957) deve ter sido o mais importante dos Congressos após o I, o de Cambridge, o Congresso da Iniciação. Isto porque o Congresso de Londres funcionou como uma verdadeira prova de *confirmação, de recomeço, de retomada*. Mas o Congresso de Paris sobreleva o de Londres na *profundidade* do tratamento das matérias; foi um Congresso que se caracterizou por um elevado nível na qualidade geral de abordagem dos problemas.

A repartição das matérias por Divisões foi idêntica à adoptada no Congresso de Londres, tendo-se porém adicionado uma Divisão onde se “arrumaram” Questões Diversas.

No que refere às Sessões de Discussão introduziu-se neste Congresso uma notável inovação. Para cada Sessão foi previamente escolhido um grupo de especialistas (Painel de Discussão) a que se deu o encargo de apresentar intervenções focando especificamente o assunto da Sessão. Era objectivo deste procedimento garantir o tratamento das questões por especialistas com formação adequada, evitando-se perder tempo em discussões de menos interesse e com muita dispersão, inconvenientes verificados em Congressos anteriores. Pretendia-se, sobretudo, que os membros de um Painel travassem discussões entre si, o que, esperava-se, dado tratar-se de especialistas, seria fonte de interesse e esclarecimento para a problemática em causa.

Mostrou depois o desenrolar das sessões que as coisas não se passaram como se esperava, pois cada membro de um Painel trazia preparada uma comunicação, obviamente de boa qualidade e com pertinência, mas cuja “configuração” não era de molde a *propiciar* discussão no interior do Painel; e assim de facto aconteceu, pois as comunicações eram *conclusivas* em excesso, não focavam os aspectos que mais dúvidas suscitavam; pelo contrário, tratavam de questões bem assentes e documentadas. Os membros do Painel, e isto compreende-se, não vinham dispostos a ser contraditados, mas antes a serem ouvidos sem dar ocasião a réplicas.

Mesmo assim a inovação foi frutuosa, pois conseguiu-se evitar as intervenções deslocadas e sem conteúdo que tinham abundado em anteriores Congressos.

* Investigador do LNEC.

DIVISÃO 1 — PROPRIEDADES DOS SOLOS E SUA DETERMINAÇÃO

Foi notável o desenvolvimento que esta matéria teve no intervalo entre o Congresso de Londres (1957) e o de Paris. Este desenvolvimento traduziu-se não só no muito elevado número de comunicações apresentadas (72) mas sobretudo na importância e profundidade dos assuntos tratados.

Afigura-se de interesse, para realçar algumas das comunicações mais notáveis, subdividir a questão.

Teorias estruturais

São soviéticas praticamente todas as comunicações com interesse que focam teorias estruturais de solos. Mostra isto que, sem se preocuparem demasiadamente com a procura de soluções para problemas práticos de Engenharia de Solos, orientação que então prevalecia nos países ocidentais, os soviéticos tinham-se substancialmente adiantado em estudos básicos de *Física dos Solos*.

DENISOV e RELTOV estudaram em particular a intensidade da interacção entre a superfície das partículas minerais e as moléculas do líquido adsorvido. Para variar a mencionada interacção prepararam pastas de argilas amassadas com diversos líquidos: benzeno, éter, acetona, álcool etílico, glicerina e, por fim, água.

Os ensaios efectuados permitem concluir, sobretudo em relação à água, que a atracção das partículas para o líquido adsorvido pesa mais no comportamento dos solos do que a grandeza das tensões efectivas (devidas a forças exteriores).

Nesta comunicação pela primeira vez se foca uma questão ainda hoje pouco divulgada: o aumento de resistência ao corte de depósitos de areia *por envelhecimento*. Este efeito de tempo, dizem os Autores, é devido à lenta formação de gel de silício nos pontos de contacto entre grãos de areia (nesses pontos, como é evidente, são altíssimas as tensões).

GOLDSTEIN e MISUMSKY relatam resultados de estudos microscópicos em que se constata que no processo de consolidação de solos argilosos a estrutura vai mudando do arranjo em “favo” para arranjo “alinhado”. O processo é governado no tempo por mudanças de estado no sentido de *maior estabilidade*, ocorrências que se dão em pontos da massa de solo com distribuição gaussiana.

VIALOV e SKIBSTIKY resumem estudos de macrorreologia em que se apresentam as *equações de estado* de solos argilosos sujeitos a solicitações distorcionais. Evidenciam a problemática de fluência e de resistência a longo prazo.

ZELLENIN e LOMIZE dedicam o seu estudo a pequenas deformações de solos argilosos. Mostram que a estrutura destes corresponde ao que em Física Coloidal se designa por *estruturas dispersas*, estruturas em que são prevaletentes as forças de Van der Waals. Tomam como objecto de análise as deformações *irreversíveis* associadas a fenómenos plásticos. Estudam as alterações estruturais ocorridas.

DI MARTINO debruça-se sobre a problemática da água intersticial mostrando que nela coexistem, de acordo com a distância à partícula, diferentes estados: uma camada monomolecular adsorvida à partícula mineral — em estado sólido; camadas de viscosidade decrescente conforme a distância à partícula, até se atingir a viscosidade da água livre, a uma distância substancial da partícula.

MURAYAMA e SHIBATA, tal como FOLQUE, apresentam modelos analógicos, explorando assim domínios da macrorreologia a um nível quase que exclusivamente fenomenológico.

Características de corte

BJERRUM apresenta um estudo que é de extrema importância para a compreensão do comportamento das argilas *sensíveis* (quick clays). Mostra que elas possuem estrutura metastável que, uma vez “abalada”, determina transferências para a fase líquida das tensões totais. Isso acontece logo que um processo de deformação distorcional se inicia e por isso é muito baixa a sua resistência ao corte.

KENNEY e WATSON propõem, e trata-se de uma proposta pioneira, determinar c e ϕ a partir de ensaio triaxial em que se usa uma só amostra. Embora se trate de uma ideia aliciante a proposta não fez vencimento, claramente devido a *perturbações* de estrutura ocorridas durante o 1.º estágio de carregamento, alterando as “respostas” obtidas nos estágios subsequentes.

SAITO e UEZAWA estudaram a ruptura por fluência e concluíram que o logaritmo da tensão final de ruptura é proporcional ao logaritmo da velocidade de deformação.

Consolidação

Assume particular importância a proposta de BRINCH HANSEN relativa a um modelo de cálculo para a consolidação unidimensional, modelo em que se considera a consolidação primária e a secundária a processarem-se simultaneamente.

Uma comunicação de LEONARDS apresenta grande interesse porque é possível concluir, a partir de ensaios conduzidos com pastas de argila amassadas com diversos líquidos, que as deformações secundárias não são *somente* determinadas pela viscosidade do líquido adsorvido. Embora esta grandeza condicione o processo, a deformação secundária, fenómeno claramente de fluência do “esqueleto”, é governada pela ultrapassagem de *barreiras de energia* nas ligações entre partículas.

SEED e CHAN apresentam um artigo com considerações de extrema importância. Situam-se simplesmente a nível fenomenológico mas fornecem “alimento” para substanciais explorações sobre os mecanismos envolvidos nos fenómenos de consolidação. Trata-se da apresentação de uma numerosa série de resultados de ensaios de consolidação, para cargas repetidas, em que o tempo de aplicação de cada escalão é variado em larga gama: entre 0,3 s e 12 h. Constatou-se que, quando aumenta o tempo de aplicação, a deformação, para o mesmo número de escalões, também aumenta. Dir-se-á que, qualitativamente, o fenómeno cai dentro da mais evidente expectativa; por isso o interesse do trabalho reside nas *quantificações* apresentadas.

FLORIN e IVANOV apresentam uma investigação relativa aos processos de liquefacção de areias (para acções distorcionais) e subsequente consolidação.

TANTJONG-KIE, o grande teorizador dos tratamentos matemáticos da consolidação tomando características variáveis ao longo de percurso de consolidação, resume o seu modelo de cálculo num artigo de grande interesse pelo esforço de síntese que comporta.

Repartição de tensões pelo "esqueleto" e pela água intersticial

É um tema que despertou muito interesse neste Congresso.

BISHOP debruçou-se sobre as técnicas experimentais que, em solos não saturados, se tornam necessárias para destrinçar as pressões nas três "fases": sólida, líquida e gasosa. Carreou novos elementos para mostrar a importância do factor χ , factor que define a partir de

$$\sigma' = \sigma - u_a + \chi (u_a - u_w)$$

em que

u_a — pressão no ar intersticial

u_w — pressão na água intersticial.

Num solo saturado é $\chi = 1$. E num solo com χ , por exemplo, de 0,3, a pressão na água é de 30% da pressão no FLUIDO intersticial.

Resultados de ensaios apresentados por ALPAN mostram a justeza das ideias defendidas por Bishop relativamente à distribuição de pressões nas duas fases fluidas de acordo com o factor χ .

No seu Relato Geral MEYERHOF apresentou um "estado da questão" cujos principais tópicos a seguir se resumem:

- Identificação e Classificação de solos: é domínio em que nos últimos anos não se tem registado progressos de nota.
- Propriedades físico-químicas: tem havido consideráveis progressos o que se deve, fundamentalmente, ao recurso a conceitos da química coloidal. E assim tem-se progredido em especial no que respeita a:
 - a) estudos de *trocas de bases* com aplicação em questões de estabilização de solos
 - b) compreensão dos fenómenos que caracterizam o comportamento das argilas expansivas, devido a aprofundamento do estudo das questões interpartículas
 - c) electro-osmose, em que não se tem aprofundado os conhecimentos teóricos, mas bastante se progrediu no que respeita a aplicações
 - d) efeitos de temperatura, sobretudo no que se refere a comportamento de solos gelados.
- Permeabilidade: não tem havido progressos de assinalar nos últimos anos.
- Deformabilidade: é uma propriedade em cujo estudo se deu início, com proveito assinalável, à aplicação de conceitos reológicos; também se progrediu assinaladamente no que se refere ao efeito de cargas repetidas.
- Consolidação: é um dos domínios em que mais progressos se tem registado, sobretudo no que se refere à proposta de novos modelos de cálculo, uns de base reológica, outros simplesmente formais.
- Corte: têm sido de base teórica, com estudos reológicos de fluência e de resistência a longo prazo, os principais progressos verificados; também se tem verificado bons progressos em técnicas de ensaio, nomeadamente no referente ao ensaio de compressão triaxial.

MEYERHOF propôs para discussão:

- Os ensaios e a dispersão de resultados
- Dissipação de poro-pressões
- Propriedades visco-elásticas, existência de um limiar de Bingham.

Como ficou dito, este Congresso inaugurou a modalidade de "discussões em painel". O Painel que inaugurou os trabalhos tinha a seguinte composição:

BISHOP (Grã-Bretanha), BRETH (Alemanha), DENISOV (URSS), GEUZE (Holanda), MARCHAND (França).

Os “painéis de discussão” não funcionaram tão bem como se tinha previsto, mas mesmo assim proporcionaram algumas importantes discussões.

A primeira intervenção foi de BISHOP sobre “filosofia” geral de interpretação de resultados de ensaios. Levantou a questão: como tratar um conjunto de resultados de ensaios que apresenta apreciável dispersão? Aceitar *acriticamente* a dispersão e interpretar os resultados estatisticamente ou, pelo contrário, procurar as razões da dispersão e verificar em que medida ela deriva das técnicas de ensaio ou de variações intrínsecas do material ensaiado?

Particularizando para o caso dos ensaios de compressão triaxial, Bishop apontou duas causas de erro cuja eliminação se impõe para reduzir a dispersão, levando-a ao valor que traduz variações intrínsecas do material ensaiado.

A primeira causa de erro prende-se com perturbações no estado de tensão-extensão nos extremos dos provetes, perturbações que podem causar grandes erros nas poro-pressões lidas durante o ensaio. Para melhorar a situação devem os ensaios ser conduzidos com grande lentidão; mesmo assim é indispensável procurar estabelecer, por via empírica, *factores de correcção*, que serão função das características granulométricas do material e da velocidade de ensaio.

Outro factor de erro é introduzido pelo uso de placas porosas não apropriadas para *efetuar a separação* das pressões existentes no ar e na água presentes no fluido intersticial. Há que procurar placas com porosidade adequada à granulometria da amostra, placas que funcionem como filtros não permitindo a passagem de bolhas de ar e dando por isso, exclusivamente, a pressão na fase líquida.

DENISOV apresentou uma comunicação focando aspectos da problemática da poro-pressão em solos argilosos, em especial referentes ao caso de argilas *duras*. O principal enfoque de Denisov dirigiu-se para o facto de, embora nas argilas *geologicamente novas* ser inegável a influência da poro-pressão na resistência ao corte, tal influência ter sido claramente sobre-avaliada no que se refere a argilas duras, em que se processaram com nitidez fenómenos de *consolidação secundária*. Nestas argilas formaram-se, nos “contactos” interpartículas, ligações permanentes, irreversíveis, de natureza química. Essas ligações são a principal condicionante da resistência mecânica; e elas não são afectadas pela poro-pressão.

Travou-se aqui uma interessante discussão (das poucas havidas). Bishop objectou fazendo notar que nos *contactos*, sejam eles de que natureza for, as poro-pressões causam alteração do estado de tensão condicionando assim o comportamento mecânico.

Tentemos ver melhor esta questão, que tem dado origem a muitas confusões e que no fundo é uma pseudoquestão. Antes de mais recordemos que a poro-pressão é actuante na medida em que se subtrai à tensão efectiva; esta é que de facto condiciona o comportamento mecânico. É óbvio, e mesmo os defensores do ponto de vista por Denisov protagonizado não pretendem o contrário, que a poro-pressão se adiciona algebricamente às forças interpartículas; mas, se estas forem muito elevadas, como acontece nas argilas duras, as poro-pressões induzidas nas obras correntes de engenharia são tão pequenas que em quase nada contam para o cômputo final das forças que condicionam o comportamento mecânico. Acontece porém que toda esta questão comporta outra leitura: nas forças interpartículas iniciais já existia uma parcela que correspondia a pressão instalada na água intersticial. Se esta parcela contar para aquilo que em geral se vai chamar PORO-PRESSÃO, então esta condiciona, e muito, o comportamento mecânico. Aparentes diferenças de opinião sobre esta matéria, diferenças que só com muitas discussões posteriores se foram esclarecendo, foram postas em relevo e tiveram grande eco até

no meio nacional. Elas alimentaram a acesa discussão travada por Manuel Rocha e Laginha Serafim no concurso deste para investigador.

GEUZE tratou de outra questão que também tem dado lugar a acesas controvérsias: as conseqüências, no comportamento dos solos, da existência de elementos viscosos na sua estrutura. Está hoje bem esclarecido que os solos argilosos possuem, em maior ou menor grau, comportamento viscoso. Pode-se pôr mesmo a questão, em relação a muitos deles, se não serão mesmo “líquidos” de muito alta viscosidade; e, assim sendo, a sua resistência ao corte *evanesceria* totalmente a muito longo prazo.

Um outro problema, de certa forma com este conexo, é o da existência ou não de um *limiar de Bingham* no comportamento dos solos argilosos. (Recorde-se que o *corpo de Bingham* é caracterizado por ter comportamento plástico que só arranca para um certo valor “limiar” da tensão.)

Parece, e o próprio desenrolar da discussão assim o mostrou, *que alguns solos argilosos não têm “limiar” de Bingham*. Mas a maior parte deles (e sobretudo os sobreconsolidados) tem comportamento que denota resistência de “arranque” não nula; tem portanto “*limiar*” de Bingham.

Como pormenor curioso recorde-se que, respondendo a Geuze, Bishop observou que se os solos fossem líquidos viscosos todo o mundo seria tão “chato” (flat) como a Holanda. (Geuze era holandês; Bishop, eminente investigador a quem a Mecânica dos Solos tanto deve, era um homem extremamente tímido, muito acanhado no trato social, mas de grande agressividade nas sessões públicas de discussão.) No seguimento Geuze, abespinhado, declarou que a “flatness” da Holanda não estava em discussão; e replicou insistindo nos seus pontos de vista, embora sem adicionar novos argumentos.

Na 2.^a parte da Sessão houve intervenções dos congressistas que não pertenciam ao Painel. Foram relativamente numerosas mas nenhuma levantou questão que mereça ser lembrada.

Nos Proceedings do Congresso encontram-se publicadas discussões que foram apresentadas posteriormente, por escrito. Dentre elas deve ser destacada a da autoria de Tan Tjong-Kie, um dos grandes animadores da aplicação da Reologia à Mecânica dos Solos. Nela é apresentado um ROTEIRO de ensaio preparado com o objectivo de especialmente recolher significativa informação *reológica*. Consta esse roteiro de:

- a) consolidação isotrópica, em aparelho triaxial, com registo da variação de volume ao longo do tempo
- b) aplicação de um distorçor, uma vez dada por terminada a consolidação, mantendo a amostra em situação não-drenada; registo das deformações e das variações de pressão intersticial
- c) consolidação a longo prazo de amostras montadas em edómetros dotados de sensores para leitura das tensões laterais desenvolvidas.

Será ainda de anotar que Tan Tjong-Kie assinala que encontrou boa confirmação para configurações reológicas tais como as propostas pelos modelos de Murayama e Shibata e de Folque.

DIVISÃO 2 – TÉCNICAS DE ENSAIO *IN SITU* E DE AMOSTRAGEM

A Divisão 2 é relativamente “pobre”, sobretudo quando comparada com a Divisão 1, com comunicações de grande desenvolvimento e relevo.

Ensaio de penetração

MEIGH e NIXON apresentaram um trabalho que é hoje um *clássico do saber* sobre ensaios de penetração. Trata-se do estabelecimento de correlações, para solos granulares finos, médios e grosseiros, entre ensaios com cone-penetrómetros (CPT) e ensaios SPT. Para aferir resultados efectuaram ensaios com placa de carga e usaram radioisótopos. Considera-se hoje bem estabelecido que essa correlação, para areias médias, coincide que o valor proposto:

$$4. N \text{ (SPT)} = R_p \text{ (CPT)}$$

Os elementos colhidos no trabalho permitiram também aos Autores apresentar *apreciações* relativas à previsão de capacidades de carga em função de SPT propostas por Terzaghi e Peck. E assim comentam:

- a previsão proposta em relação com ensaios SPT é válida para areias finas mas subestima as capacidades de carga para areias médias e grossas e, ainda mais, para areias com cascalhos
- a precisão da previsão baseada em ensaios CPT, enquanto a granulometria do solo CONSENTE o ensaio é bastante boa.

SCHULTZE e MENZENBACH apresentaram um trabalho, muito bem documentado, de importância *definitiva* para a interpretação dos ensaios SPT, efectuados em solos incoerentes; os resultados apresentados provam que se pode aceitar uma relação linear entre o módulo de compressibilidade e os resultados SPT:

$$E_s = 1/m_v = C_1 + C_2 \cdot N$$

Os parâmetros CC variam com o tipo de solo. C_1 tem valores da ordem de 4 para solos siltosos, valores que sobem para 40 no caso de areias com cascalhos. Para os referidos solos C_2 varia entre 12 e 5.

Uso de radioisótopos

RAEDSCHELDERS e GOELEN apresentaram resultados pormenorizados sobre valores de pesos específicos e teores em água obtidos, respectivamente, por dispersão de raio γ e por absorção de neutrões rápidos. Os Autores chamam a atenção para a elevada dispersão de resultados que se observa quando os solos não são razoavelmente homogéneos.

Amostragem

BEGEMANN descreve dois muito interessantes amostradores. Eles estão hoje caídos em desuso porque foram substituídos por um amostrador, também desenvolvido por Begemann, que é o melhor hoje existente e que deles se pode considerar descendente. Com efeito, já continham, em embrião, os princípios do moderno amostrador: amostragem contínua de “carotte” encamisada em material flexível; encamisamento inicialmente alojado na ponteira do amostrador e que depois se vai *desenrolando* conforme a amostra no amostrador penetra.

O Relator Geral, VAN DER VEEN, fez comentários sobre as comunicações apresentadas. Sublinhou que, apesar dos progressos realizados no campo da amostragem, era grande a tendência

para, cada vez mais, se efectuar determinações *in situ*. Embora existam as óbvias desvantagens de controlar mal as condições “externas” do ensaio, isto é, de controlar mal as condições nos limites do “corpo de prova” (limites que nos ensaios *in situ* são INDEFINIDOS), as vantagens são compensadoras: muito menor perturbação causada na *estrutura* do solo a ensaiar, possibilidade de interessar maior volume de solo na “resposta” às acções cujos efeitos se pretende estudar, etc.

Os penetrómetros têm-se imposto largamente como instrumentos muito úteis, porventura muito mais para tomar prudentes decisões de obra do que para pesquisar características básicas de solos. E qualquer dos aspectos, mas sobretudo no segundo, intensa investigação impõe-se que seja efectuada.

Foi só no início da Sessão de discussão (e não no Relato Geral como é usual) que Van der Veen propôs os pontos para discussão. Foram eles:

- a) Considerações sobre os ensaios CPT, nomeadamente focando:
 - reconhecimento geral, isto é, detecção das diferentes formações e de singularidades (cavernas, concreções)
 - determinação de capacidades de carga
 - estudos de resistências ao corte
 - estudos de compacidade de areias
- b) Uso de métodos de radio-isótopos para medição de pesos específicos e teores em água
- c) Comparação de ensaios de campo com ensaios realizados em laboratório.

O Painel de Discussão era composto por CAMBEFORT (França), FOLQUE (Portugal), GOLDER (Grã-Bretanha), KALLSTENIUS (Suécia) e MENCL (Checoslováquia).

A primeira intervenção foi de CAMBEFORT que sublinhou a grande precisão dos métodos de raios γ e de neutrões para determinações à SUPERFÍCIE. No interior de furos a *precisão* é muito prejudicada pelo estado da parede do furo, circunstância que põe muitas dificuldades à utilização destes métodos em prospecção profunda.

FOLQUE falou sobre a experiência portuguesa na utilização de métodos radioactivos sublinhando que eram muito grandes as dispersões encontradas. Isto levava a que se utilizassem os métodos mais como indicadores da *evolução* das grandezas do que como indicadores dos seus valores; a segunda alternativa implicava CALIBRAÇÕES muito frequentes o que retirava aos métodos o seu carácter de expeditos.

KALLSTENIUS apresentou uma muito interessante exposição sobre penetrómetros. Dissertou sobre os fenómenos físicos envolvidos; os “caminhos de plastificação” e as “distorções” das massas terrosas deslocadas pelo penetrómetro no seu avanço. A “física” do problema é complexa; envolve questões de mobilização de resistências ao corte; indução de alterações estruturais, alterações de volume nas massas à frente e aos lados da ponteira do penetrómetro. Ora, há circunstâncias entre as mencionadas cujos efeitos podem de muitos modos combinar-se e até *cancelar-se*. É pois de prever que os resultados de um ensaio penetrométrico não sejam “homólogos” para os diversos tipos de terreno; quer dizer, por exemplo ao atravessar um solo argiloso é de esperar que seja a *resistência ao corte* do solo que condicione a resistência à penetração; já ao atravessar areias é de esperar que a *compacidade* destas (e por seu intermédio a *compressibilidade*) seja a principal condicionante da resistência à penetração. E assim não poderá, por exemplo, esperar-se que um ensaio penetrométrico dê indicações sobre a compressibilidade de argilas; estas exibem compressibilidades muito diversas para a mesma resistência ao corte!

L'HERMINIER dissertou largamente sobre os resultados de ensaios de penetração efectuados no poço de ensaios das instalações laboratoriais de St. Rémy, ensaios que foram decisivos para *compreender* o mecanismo dos ensaios de penetração em areias. Em especial estes ensaios tornaram bem claro que existe uma PROFUNDIDADE CRÍTICA para além da qual a resistência à penetração não cresce (o “entendimento” desta questão só alguns anos mais tarde teve progressos significativos).

MENCL falou sobre “vane-tests”, insistindo na sua muito boa adequação ao estudo de características de corte de solos argilosos moles.

DIVISÃO 3A — FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Foram muito numerosas as comunicações apresentadas a esta Divisão. A maior parte delas tinha porém interesse reduzido por se referir a casos de obra com aspectos dificilmente generalizáveis. E outras perderam actualidade, não venceram a prova do tempo. Não são por isso muitas as comunicações que vão aqui ser recordadas.

Merece ser particularmente assinalada a comunicação de DE BEER e LADANY relativa a sapatas fundadas em areia. (Vai resumir-se a comunicação com notação diferente da que nela é usada, dando preferência à notação que está mais vulgarizada e que é recomendada pela Sociedade Internacional.)

Recorde-se então que a capacidade de carga de uma sapata corrida assente em solo arenoso é dada por

$$\sigma_a = N_q \cdot q + N_\gamma \cdot \gamma \cdot b$$

em que N_q e N_γ são factores que só dependem de ϕ e em que

q — sobrecarga lateral

γ — peso específico do solo

b — largura da sapata.

Para sapatas rectangulares ou circulares aparecem “*factores de forma*”, FF, de tal maneira que

$$\sigma_a = F_q \cdot N_q \cdot q + F_\gamma \cdot N_\gamma \cdot \gamma \cdot b$$

Os estudos efectuados permitiram estabelecer, por via puramente empírica, os seguintes valores para os “*factores de forma*”:

— sapatas rectangulares com relação 6 entre os lados

$$F_q = 1,04 \quad F_\gamma = 0,95$$

— sapatas circulares

$$F_q = 1,21 \quad F_\gamma = 0,60$$

BENT HANSEN conduziu ensaios também em areias e usando sapatas circulares. Mas o seu objectivo era diferente: procurar verificação para os valores usualmente atribuídos aos factores NN (lembre-se que aqueles resultam da solução do “problema de Prandl” e foram vulgarizados pelos tratados de Terzaghi e Taylor.) Os ensaios realizados por Bent Hansen deram indicação de que os valores experimentais encontrados para o factor N_q são bem superiores aos valores teóricos.

SCHULTZE apresenta resultados de observações, efectuadas por si próprio e recolhidas na bibliografia, relativas a *distribuição de tensões no contacto de sapatas RÍGIDAS com o terreno*. Como é bem sabido, a solução teórica leva a uma curva que, nos 3/4 centrais, pode ser aproximada por uma parábola; nos segmentos que correspondem aos 1/4 laterais as tensões crescem rapidamente e tornam-se infinitas. As observações de casos reais mostram que um “ajuste” parabólico pode ser adoptado para todo o contacto com suficiente precisão.

VESIC apresenta um trabalho em que mostra que as vigas sobre fundação “elástica” podem ser adequadamente calculadas usando a hipótese de Winkler. Tem é de ser adoptado um módulo de reacção, K , que requer um bom conhecimento e uma conveniente *articulação* dos módulos E_b e E_s (módulos de Young do betão da viga e do solo de fundação). O módulo K exprime-se por

$$K = 0,65 \alpha^{-12} \cdot \beta$$

em que

$$\alpha = \frac{E_s B^4}{E_b I}$$

$$\beta = E_s (1 - \mu^2)$$

B e I — largura e momento de inércia da viga

μ — coeficiente de Poisson do solo.

JENNINGS, numa comunicação que trata do importante problema de fundações em argilas expansivas, mostra que há boa concordância entre os resultados observados e os previstos pelo método do *duplo edómetro*, método da autoria do próprio Jennings. A propósito recorda-se que o método do *duplo edómetro* consiste em ensaiar simultaneamente duas amostras: uma que se ensaia mantendo-a com o teor em água natural e outra que é deixada saturar mantendo-a sujeita às tensões aplicadas nos diversos escalões de carga do ensaio.

ZEITLEN e KOMERNIK também tratam do problema de fundações em argilas expansivas. O seu trabalho porém é dirigido, quase que em exclusivo, para “recomendações”. Destacam-se algumas: adoptar elevadas tensões de contacto sapata/terreno; conferir elevada rigidez aos edifícios; impermeabilizar os pavimentos dos logradouros em torno dos edifícios; adoptar juntas flexíveis nas canalizações de esgotos e outras ligações dos edifícios ao exterior.

O Relato-Geral, da autoria de TSYTOVITCH, passa em revista o “estado da questão” das matérias correlatas com o tema. Em separado para dados subtemas apresenta propostas para *discussão* que, como é óbvio, traduzem os aspectos mais candentes das questões em causa:

- a) Capacidade de carga
 - solos argilosos não saturados
 - métodos cinemáticos de determinação
 - modelação para estados complexos de tensão

- b) Distribuição de tensões
 - problemas em multicamadas
 - efeitos de forma e rigidez das sapatas
- c) Assentamentos
 - deformações na “descarga”, por “secagem” e por “molhagem”
 - fluência e consolidação secundária
- d) Métodos de cálculo de dimensionamento
 - limites de validade da hipótese de Winkler
 - determinação da capacidade de carga tomando como limite o assentamento
- e) Casos especiais
 - medidas a tomar em argilas expansivas
 - grandeza e velocidade de deformação em solos cuja estrutura é severamente perturbada pelas obras.

O Painel de Discussão era composto por COOLING (Grã-Bretanha), FROLICH (Áustria), HABIB (França), PEYNIRCIOGLU (Turquia) e ZEITLEN (Israel).

As intervenções do Painel começaram com uma comunicação de HABIB, algo inconclusiva, sobre os efeitos da dimensão e forma das sapatas na capacidade de carga. O autor transmite a opinião de que o “efeito dimensão” se encontra bem estabelecido e é já contemplado nas fórmulas que se encontram consagradas; quanto aos “coeficientes de forma” parece-lhe inviável tentar estabelecê-los: as dispersões de propriedades dos solos *mascaram* qualquer possível “coeficiente de forma”.

ZEITLEN não está bem de acordo com Habib no que se refere ao “efeito dimensão” insistindo em que a questão necessita ainda de muita investigação complementar.

FROLICH manifesta a opinião de que os efeitos de “forma” e “dimensão” se encontram bem dominados nas metodologias consagradas e em uso; muito mais importância assume a definição de *capacidade de carga* que, a seu ver, devia ser considerada como a tensão para a qual se começam a dar deformações plásticas nos bordos da sapata.

PEYNIRCIOGLU dissertou sobre assentamentos “previstos” e “verificados”. Pode-se resumir o essencial da sua comunicação numa proposta de adopção de factores *correctivos* — estabelecidos “a anteriori” por meio de ensaio de carga — para conseguir ter alguma confiança nos assentamentos previstos.

COOLING apresentou uma comunicação sobre os deslocamentos de solos argilosos quando ocorrem variações do teor em água. Apontando para a grande importância da questão no que se refere a fundações de pequenos edifícios em argilas expansivas, fez notar que a questão é de carácter eminentemente REGIONAL, pois resulta de acções interconjugadas de “tipo de solo” e de características climáticas. Propôs o seguinte roteiro geral para previsão de deslocamentos:

- determinação do perfil de *tensões efectivas* no solo natural tendo em atenção os efeitos de sucção
- adição a essas tensões efectivas das tensões efectivas transmitidas pela edificação
- cômputo dos deslocamentos por comparação dos dois mencionados perfis.

DIVISÃO 3B — FUNDAÇÕES EM ESTACAS

Foram apresentadas a este Congresso comunicações que hoje constituem contributos CLÁSSICOS para o "estado da questão" do comportamento de estacas.

Uma delas deve-se a BEREZANTZEV e aí se apresenta uma das *figuras de plastificação* consagradas na teorização da ruptura do terreno que subjaz e ladeia uma estaca. A mencionada figura de plastificação é constituída por uma zona, sob a ponta, semelhante à de plastificação sob uma sapata. Essa zona conjuga-se com superfícies verticais ao longo das quais se desenvolvem resistências de corte correspondentes a impulso passivo na massa terrosa; essas superfícies desenvolvem-se desde a ponta da estaca até à superfície do terreno. Antecipando comparação, que mais tarde foi possível, com propostas de Meyerhof (hoje reputadas as mais verosímeis), aponte-se que a proposta de Berezantzev é bastante do lado da segurança. E, para a prática da época, fornecia resultados muito aceitáveis.

SOWERS e FAUSOLD apresentaram uma comunicação que continha, com base em investigação puramente experimental (ensaios em modelo), informações de muita valia referentes ao comportamento de grupos de estacas. Foram ensaiados grupos "quadrados" de 4, 9 e 16 estacas, com diferentes espaçamentos. Para evidenciar as tendências que os ensaios revelaram resume-se o que foi constatado em relação ao grupo de 9 estacas:

- a) no que se refere a distribuição de cargas pelas estacas do grupo constata-se que as estacas mais carregadas são as de canto e a menos carregada é a estaca central;
- b) o efeito do espaçamento na redução da capacidade de carga traduz-se no seguinte: a capacidade de carga da estaca mais carregada do grupo (qg), comparada com a capacidade de carga de uma estaca isolada (qi) varia com o espaçamento de acordo com:

espaçamento	qg/qi
1,5 diâmetros	0,65
2	0,7
3	0,8
5	0,8

- c) o assentamento do grupo, para 1/2 da carga de ruptura (∂g), compara-se com o assentamento da estaca isolada (∂i) de acordo com:

espaçamento	$\partial g/\partial i$
1,5 diâmetros	3
2	4
3	2
5	1

Note-se que, ao contrário do que acontece com a carga de ruptura, para os assentamentos há um espaçamento péssimo. Isto é fácil de compreender: porque é pequena a capacidade de carga de estacas muito próximas é também pequeno o assentamento que corresponde a 1/2 dessa carga. Esta compensação desaparece quando aumenta o espaçamento e em seguida tudo se passa de acordo com o esperado: o assentamento aproxima-se do valor correspondente ao da estaca isolada quando o espaçamento se torna substancial.

KÉRISEL apresenta uma comunicação que contém aquilo a que se poderá chamar “certidão definitiva” do comportamento de *hastes* em penetração em meios arenosos compactos. Apresenta a acta narrativa, “tabeliônica”, dos ensaios de penetração em areias, ensaios executados no célebre “poço” de St. Rémy-la-Chèvreuse. Trata-se de um poço com 6,4 m de diâmetro e 10 m de profundidade que foi utilizado para a realização de numerosíssimos ensaios em meios arenosos *construídos* no seu interior com cuidado do controlo das suas características mecânicas. A instalação era assim particularmente adequada para efectuar ensaios de averiguação de comportamento de fundações medianamente profundas (estacas e pégões) e bem assim para ensaiar e *calibrar* penetrómetros.

A comunicação de Kérisel constitui uma narrativa em forma de acta em que os comportamentos de cravação de *hastes* são cuidadosamente registados (note-se que não são explicados nem teorizados). Não foi de futuro possível tratar este tema sem o reportar a esta comunicação que, na matéria, compila os factos decisivos e finais.

No poço de ensaio, utilizando areia normalizada do Loire, foram “construídos” solos com três compacidades, todas elas relativamente elevadas. Para QUANTIFICAR as aludidas compacidades usou-se um *penetrómetro padrão*, constituído por uma haste com ϕ 45 mm e com ponteira cônica de 60° de abertura no vértice.

Uma das constatações decisivas que nestes ensaios se apurou consiste no seguinte: a partir de uma certa profundidade limite, tanto *maior* quanto *menos* compacto é o terreno, a resistência à penetração de uma dada haste mantém-se constante. Poderá nestes termos caracterizar-se a compacidade de um dado meio em estudo a partir da resistência à penetração, Rpf, do penetrómetro padrão. E assim se estudaram três areias compactas com Rpf, respectivamente, de 100, 200 e 300 kgf/cm².

Outra importantíssima aquisição definitiva para a problemática da “penetração” consiste na circunstância de, decididamente, poder afirmar-se que a resistência unitária à penetração DEPENDE do diâmetro do elemento penetrante. Não existe assim um termo tal como o coeficiente $N\gamma$, consagrado em muitas teorias de capacidade de carga, que só depende de Φ , $N\gamma$ depende de Φ , de facto, mas depende também do diâmetro da haste.

Como ficou dito, Kérisel não teorizou estas questões. Ainda hoje elas estão muito toscamente teorizadas. Mas Kérisel determinou, para os três meios de diferentes compacidades a que se fez menção, as resistências à penetração de *hastes* com diferentes diâmetros. E obteve assim resultados que permitem uma visão *prática* muito esclarecedora das grandezas e da “tendência” de evolução do mencionado factor $N\gamma$. Resumindo esses resultados pode-se escrever

AREIA 1

	1 ϕ (mm)	Rp (kgf/cm ²)
Penetrómetro	45	100
Estacas	300 a 600	60 a 70
Pégões	1000 a 1500	60 a 40

AREIA 2

	ϕ (mm)	Rp (kgf/cm ²)
Penetrómetro	45	200
Estacas	300 a 600	170 a 120
Pégões	1000 a 1500	110 a 80

AREIA 3

	ϕ (mm)	Rp (kgf/cm ²)
Penetrómetro	45	300
Estacas	300 a 600	250 a 170
Pégões	1000 a 1500	120 a 90

É possível, tomando estas bases, assumir valores de trabalho para estacas ou tubulões de diâmetros usuais interpolando para areias com diversas compacidades.

Há porém que atentar num muito importante aspecto desta questão, como explicar a validade da prática, já então consagrada e até hoje não desmentida, do uso de penetrómetros (nomeadamente o CPT) para determinação directa de Rp? Parece que a resposta reside no seguinte: a diferença entre o Rp de um penetrómetro e o de elementos de maior diâmetro (estacas, pégões) DECRESCER FORTEMENTE quando diminui a compacidade da areia, e a areia menos compacta que Kérisel estudou tinha Rp de 100 kgf/cm², quer dizer, era uma areia muito compacta. Ora na prática não se usam fundações por estacas em terrenos tão compactos. E em terrenos arenosos soltos (e mais acentuadamente ainda em terrenos não arenosos), Rp tende rapidamente a POUCO DEPENDER do diâmetro da haste penetrante.

Estão de acordo com as mencionadas constatações de Kérisel as propostas de MENZENBACH, que preconiza a adopção de um coeficiente de segurança para afectar Rp, coeficiente que será função da secção, S, da estaca. O coeficiente de segurança foi estabelecido empiricamente, para corrigir resultados obtidos com penetrómetro CPT e escreve-se:

$$F = 1 + a \cdot Rp \cdot S$$

com

$$a = 5.10^{-7}$$

Aponta-se este trabalho como simples curiosidade pois o valor assumido pelo factor *a* torna qualquer correcção *irrelevante!*

Há uma comunicação de VAN WEELL de muito interesse para esta controvérsia, pois apresenta um número razoável de exemplos de “casos de obra” em que há muito boa concordância entre a capacidade de carga de estacas e valores deduzidos DIRECTAMENTE de CPT.

Um novo método de ensaio de estaca foi proposto por WHITAKER e COOKE. É um método que tem tido larga aplicação no Norte da Europa mas que entre nós não chegou a ganhar favor. Fundamentalmente o método consiste em *provocar* a penetração da estaca em

estudo com velocidade de penetração constante (da ordem de 0,5 a 1 mm/min). Consta-se que a força necessária para provocar a penetração rapidamente “estabiliza” e que essa força pode ser tomada como a capacidade de carga da estaca. Obviamente que o método é só aplicável a estacas flutuantes. Outro facto a ter em conta é que ele não fornece quaisquer indicações sobre a grandeza dos assentamentos e esse será um dos seus maiores inconvenientes.

ZEEVAERT, no Relato Geral, dá relevo aos tópicos que considera de maior actualidade, designadamente:

- Investigações em estacas protótipo de forma a correlacionar comportamentos com características de solos envolvidos.
- Desenvolvimentos teóricos que ajudem a compreender o comportamento de estacas.

Para posicionamento dos problemas gerais sugeriu para discussão:

- características de corte e de compressibilidade dos solos envolventes antes e depois da construção de estacas
- métodos de ensaios de carga, destacando em particular o método “rápido”, o método “lento” de carregamento contínuo e o método clássico de carregamento por escalões
- comparação da resistência ao longo do fuste em ensaios de compressão e em ensaios de arranque.

Na sessão de discussão do tema, o Painel era composto por GEUZE (EUA), KÉRISEL (França), MOGAMI (a), MAJDANOVIC (Jugoslávia), PECK (EUA) e MILTON VARGAS (Brasil).

Dado o sensacionalismo de que se revestiu a comunicação de Kérisel acerca dos ensaios de *penetração* em meios arenosos, não é de admirar que este assunto tenha sido o que mais prendeu a atenção durante as discussões.

A pedido do Presidente da Mesa foi o próprio Kérisel quem abriu a sessão dando explicações complementares sobre o seu trabalho. Insistiu sobretudo, obviamente para amortecer o choque com a problemática dos CPT, em que a dependência de R_p do diâmetro do penetrómetro só se tornava significativa para solos muito compactos.

A intervenção de GEUZE foi de delicada mas firme insistência no sentido de pôr em dúvida a interpretação dos ensaios de Kérisel, argumentando: o que Kérisel designara, para os elementos de grande diâmetro, como “resistência final” era AINDA a “resposta” numa zona de grandes deformações; muito maiores resistências se obteriam se os ensaios pudessem ser levados muito mais profundamente, o que no “poço de ensaio” utilizado era manifestamente impossível.

MAJDANOVIC alinhou ao lado de Kérisel, pois segundo declarou, a sua experiência pessoal já o levava a constatações semelhantes.

MILTON VARGAS, a propósito de previsões baseadas em ensaios penetrométricos, fez considerações de um certo pessimismo. Quer os SPT quer os CPT serviam, indiscutivelmente, para determinar propriedades-índices de solos. Mas parecia-lhe utópico querer estabelecer qualquer correlação *directa* entre ensaios de penetração e capacidade de carga-limite de estacas.

A discussão entrou depois numa fase algo confusa, mas o sentido geral apurado, sobretudo centrado em insistência de Kérisel e nalguma “cedência” por parte de Geuze, foi o de ACEITAR os pontos de vista de Kérisel (como já ficou dito, eles são hoje considerados como definitivamente *adquiridos*).

Uma oportuna intervenção de PECK veio desviar a atenção para a urgência de conseguir bases mais sólidas (com algum reforço teórico) para a compreensão do comportamento dos grupos de estacas; e para a comparação do dito comportamento com o da *estaca isolada*.

MOGAMI interveio em seguida apresentando dados experimentais que mostram existir, nos solos coerentes, uma relativa uniformidade da tensão tangencial mobilizada ao longo do fuste de estacas flutuantes.

Numerosas foram ainda outras intervenções nesta sessão de discussão. Vieram em regra alinhar com um ou outro dos pontos de vista expostos, SEM trazerem contribuição adicional de interesse.

DIVISÃO 4 — ESTRADAS E AERÓDROMOS

Foram pouco numerosas as comunicações apresentadas a esta Divisão.

O tema que, como era de esperar, atraiu mais atenções refere-se aos pavimentos: métodos de dimensionamento, influência do solo de fundação, comportamento sob cargas repetidas.

REICHERT apresentou resultados relativos a deformações “totais” (elásticas adicionadas de permanentes) causadas por solicitações repetidas aplicadas por placas a modelos de pavimentos com diferentes constituições de revestimentos e bases. Os resultados apresentados interessam sobretudo para apreciar o efeito “cumulativo” de solicitações repetidas.

Também com orientação puramente experimental, mas de grande importância por ser grande a carência de explorações teóricas na matéria, é o trabalho de SOWERS e VESIC em que se apresentam resultados de distribuições de tensões em pavimentos, distribuições lidas na camada superficial, na base e na sub-base.

Tiveram grande relevo nesta Divisão questões relacionadas com o uso de solo-cimento na construção de pistas.

DUTRON E CANFYN apresentaram um trabalho em que utilizam um método empírico para relacionar valores de CBR com resistências de misturas solo-cimento.

DUTRON e CLOES estudam a influência da quantidade de água e do grau de compactação na resistência de misturas solo-cimento.

MACLEAN apresenta resultados relativos à influência da matéria orgânica em questões de estabilização usando solo-cimento.

SCHNITTER estuda a estabilização com cimento de solos de fundação com pequena capacidade de carga.

O Relator Geral, MORALDI, propôs para discussão os seguintes temas:

- influência do método de execução de ensaio no módulo de reacção medido
- influência do clima e das condições ambientais no valor crítico do módulo
- rendimento dos equipamentos de compactação.

A índole destas questões é só por si indicativa da sensível “cruzeira” técnica que então caracterizava aquilo que, em embrião, continha o que viria a ser a *Geotecnia Rodoviária*.

O Painel de Discussão era composto por IVANOV (URSS), LEONARDS (EUA), MACLEAN (Grã-Bretanha), U. NASCIMENTO (Portugal), PELTIER (França) e REICHERT (Bélgica).

IVANOV apresentou (por escrito) uma comunicação em que sublinhava:

- 1.º — A teoria da elasticidade pode ser aplicada aos sistemas multicamadas para estudar os efeitos das cargas repetidas rápidas
- 2.º — A experiência soviética mostra que a deformação elástica máxima não deve ultrapassar (na época de chuvas) valores de 0,6 a 1,0 mm.
- 3.º — É perfeitamente aceitável que os pavimentos rígidos sejam estudados por aplicação da teoria da elasticidade.

LEONARDS apresentou uma comunicação bastante céptica em relação aos métodos em uso para dimensionamento de pavimentos flexíveis. Insistiu em que devia ser a problemática das *deformações* admissíveis nas diversas camadas aquilo que deveria servir de base aos métodos *racionais* de dimensionamento de pavimentos, quer rígidos quer flexíveis.

MACLEAN, no seguimento do que dissera Leonards, apresentou numerosos dados sobre DEFORMAÇÕES nas diferentes camadas e para diferentes posições da solitação.

NASCIMENTO apresentou um resumo da situação em Portugal (LNEC) no que se referia ao desenvolvimento dos métodos teóricos de cálculo para dimensionamento de pavimentos.

PELTIER apresentou a comunicação mais desenvolvida da Sessão tratando da posição então atingida no que se reportava a métodos analíticos de dimensionamento de pavimentos. O mais importante aspecto poderá resumir-se: o método empírico designado por CBR domina claramente as técnicas de dimensionamento e dá boa conta das necessidades; nota-se porém a “aspiração” (mais do que a “necessidade”) de dispor de um método que não seja empírico; em França na altura desenvolviam-se esforços e eles permitiam alimentar esperanças; dispunha-se de dois importantes pontos de partida:

- para cargas dinâmicas os pavimentos têm comportamento *elástico*.
- para cargas estáticas o comportamento é *visco-elástico*.

DIVISÃO 5 — IMPULSOS DE TERRAS

Esta poderá considerar-se a “Divisão-desilusão” deste Congresso: nenhuma das Comunicações apresentadas passou além do medíocre!

BUISSON apresenta resultados de observações de silos evidenciando, o que de resto era já sabido, que no esvaziamento as paredes dos silos apresentam apreciáveis sobre-tensões. Elas dependem da rigidez das paredes e das dimensões das tremonhas. Por enquanto não se dispõe de métodos de cálculo destas situações tendo de recorrer-se a regras práticas.

HEYMAN chama a atenção para o fenómeno, também já conhecido, do desenvolvimento de esforços horizontais interessando estacas existentes na proximidade de aterros em construção (ou recém-construídos).

PECK e IRELAND relatam e observação de um muro de suporte de 7 m de altura com terraplano arenoso. Foram medidas as pressões sobre o muro conforme o terraplano progredia e, conseqüentemente, o muro rodava. As pressões estabilizaram para um deslocamento da cabeça do muro da ordem de 1 cm, isto é, para pouco mais de 1/1000 da altura. Este resultado está de acordo com o esperado; e as pressões medidas também estão de acordo com o esperado tendo em atenção o Φ do terraplano. Concluem por isso os autores que o bom acordo entre “previsto” e “observado” justifica que se adopte nestes cálculos baixos coeficientes de segurança, da ordem de 2.

O Relator Geral, HUECKEL, considerando que as Comunicações apresentadas efectuavam uma fraca cobertura da matéria, preferiu propor para discussão assuntos não cobertos pelas comunicações. Propôs então:

- Critérios de determinação de coeficientes de segurança para problemas de resistência activa e resistência passiva
- Cálculos de estacas-pranchas; tentativa de, com base nos pontos comuns dos diversos métodos disponíveis, estabelecer um método-síntese.

O Painel de Discussão teve a presença de BIAREZ (França), BJERRUM (Noruega), BRINCH HANSEN (Dinamarca) e ROWE (Grã-Bretanha).

A primeira intervenção foi de BRINCH HANSEN que, fundamentalmente, chamou a atenção para as mais que prováveis melhorias que seriam de esperar nos resultados das computações se nos respectivos métodos não fossem consideradas superfícies potenciais de escorregamento, quer planas quer curvas. O problema tem de ser encarado como uma plastificação geral da massa. Chamou a atenção para trabalhos que tem publicado e em que, a este respeito, tem apresentado propostas concretas.

ROWE, de certo modo discordando de Brinch Hansen, interveio no sentido de afirmar que em muitas obras, como é o caso das estacas-pranchas, são as *deformações* que constituem as situações-limite de aceitabilidade da obra. As deformações-limite são atingidas com situações de plastificação muito complexas, plastificações cujas “trajectórias” não são cobertas por nenhum dos métodos de estudo até agora propostos.

BIAREZ chamou a atenção para a diversidade de métodos propostos para cálculo de impulsos, métodos que, na realidade, se reduzem a dois únicos tipos: métodos de ruptura e métodos que levam em conta as deformações-limite. Quanto aos primeiros, já desde a proposta clássica de Coulomb que se dispõe de soluções aceitáveis. No que se refere aos segundos, é óbvio que soluções adequadas têm de ser procuradas dentro da Teoria da Plasticidade; e nelas se incluem as propostas por Brinch Hansen.

A intervenção de PECK, que se seguiu, foi no sentido de chamar a atenção para o facto de se dispor de muito melhores conhecimentos sobre os *impulsos* do que sobre os *deslocamentos*; impunha-se portanto dar prioridade aos estudos que levassem a um melhor esclarecimento da problemática de *deformações*.

As discussões continuaram com mais algumas intervenções que não trouxeram esclarecimentos adicionais à questão.

Em resumo, das discussões pode concluir-se:

- as solicitações sobre muros de suporte e, em geral, sobre obras rígidas, não levantam dúvidas apreciáveis
- as questões relacionadas sobre solicitações obras flexíveis, nomeadamente estacas-pranchas, encontram-se muito menos esclarecidas.

DIVISÃO 6 — BARRAGENS DE TERRA E TALUDES

As comunicações apresentadas versaram algumas questões com interesse e até mesmo com certa importância.

DE BEER e LOUSBERG levantaram uma questão muito importante e ainda hoje com actualidade: o problema das grandezas que é habitual utilizar para definir os coeficientes de segurança de taludes em relação ao escorregamento. Como é sabido, é tradicional usar os parâmetros de corte, coesão e ângulo de atrito. Mas os autores lembram que talvez fosse mais significativo recorrer a alternativas, por exemplo:

- o acréscimo a dar à resultante das solicitações sem mudar a sua linha de acção
- a translação a dar à dita resultante sem mudar a sua grandeza.

STROGANOV propõe o estudo de taludes começando, com generalidade, por estabelecer as *equações de estado* do escoamento visco-plástico. É uma comunicação que implica tratamentos matemáticos de grande complexidade.

SUKLJE e VIDMAR descrevem um escorregamento de encosta de grandes dimensões, escorregamento “lento” típico. O grande movimento da encosta deu-se em poucos minutos, mas tinha sido antecedido de pequenos deslocamentos durante *décadas*, de acordo com os habitantes da região.

NONVEILLER e ANAGNOSTI dão indicações de muito interesse sobre tensões e deslocamentos observados em barragens de *enrocamento*.

HUANG WEN-XI descreve investigações sobre LIQUEFACÇÃO de areias em fundações de barragens, assunto que era então de muita novidade.

CHADEISSON descreve a construção de uma *parede moldada no solo*, técnica que era então incipiente.

AISENSTEIN refere-se ao uso de argilas “gordas” para impermeabilização de pequenas albufeiras.

O Relator Geral, TROLLOPE, começa por apontar que se pode dar como estabelecido que, actualmente, o melhor método de cálculo de estabilidade de taludes de barragens é um método de equilíbrio-limite com superfície potencial de escorregamento circular, sendo os cálculos conduzidos em termos de tensões efectivas. Podem-se considerar ultrapassadas certas confusões relativas a coeficientes de segurança, ficando bem claro que estes devem ser procurados por comparação *vectorial* de forças derrubadoras e forças estabilizadoras.

Um tema que necessita de estudos complementares é o que se refere à resistência a longo prazo

Como temas para discussão Trollope propôs:

- factores que podem levar à diminuição no tempo da resistência dos solos
- variações com o tempo das distribuições de tensões no corpo da barragem
- possibilidade de os solos argilosos resistirem a solicitações de tracção.

O Painel de Discussão era composto por ARREDI (Itália), FLORENTIN (França), HOLTZ (EUA), TROFIMENKOV (URSS) e BOLOGNESI (Argentina).

A primeira intervenção foi de FLORENTIN e centrou-se em considerações sobre se é ou não de aceitar que, a longo prazo, a COESÃO (em termos de tensões efectivas) acaba por evanescer. A opinião do próprio Florentin é de cepticismo, preconizando aprofundadas investigações sobre o tema.

HOLTZ chamou em particular a atenção para a problemática de utilização de solos EXPANSIVOS na construção de barragens. Nas obras da responsabilidade do Bureau of

Reclamation a utilização de solos expansivos é feita com muita precaução, tendo em atenção que a sua resistência é muito afectada quando se alteram os teores em água.

TROFIMENKOV pronunciou-se sobre a fluência de encostas mostrando a necessidade de realizar profundas investigações no que se refere à estabilidade (sobretudo a longo prazo) de encostas argilosas.

ARREDI voltou ao tema da degradação da *coesão* (em tensões efectivas), mostrando-se partidário de, quanto mais não seja por prudência, ser tida em conta a sua total degradação a longo prazo.

BOLOGNESI debruçou-se sobre aspectos construtivos, nomeadamente alertando para os perigos de *sobrecompactação* e fenómenos de “laminagem” associados.

A intervenção mais importante entre as que tiveram origem fora do Painel deveu-se a SKEMPTON. Manifestou a opinião de que, EM GERAL, a coesão em termos de tensões efectivas NÃO se degrada completamente.

DIVISÃO 7 — QUESTÕES DIVERSAS

Foi diminuto o interesse das comunicações apresentadas. Talvez só mereça ser recordada, a distância, a comunicação de ABEY relativa a fundações de edifícios em *regiões sísmicas*. E isto porque esta questão, no ambiente dos Congressos de Mecânica dos Solos, apresentava então grande novidade.

A comunicação de Abey descreve um “caso de obra” e relata os cálculos feitos para demonstrar a absorção, pela fundação, das solicitações induzidas pelas acções sísmicas. A metodologia geral de ataque do problema teve por base a observância de REGULAMENTOS DE ACÇÕES SÍSMICAS e uma cuidada pesquisa relativa a comportamento de edifícios sujeitos a acções sísmicas intensas.

O Relator Geral, MEHRA, propôs para discussão, como questões “diversas” de interesse, as seguintes:

- Estabilização térmica dos solos
- Revestimentos de canais
- Utilização de caldas tixotrópicas em injeções de tratamento de fundações.

A sessão de discussões decorreu sem que houvesse intervenções de interesse assinalável.