

# HIPÓTESE HISTÓRICA CRÍTICA DE ENSAIOS E PARÂMETROS EM GEOTECNIA.

Prof. Dr. Victor F.B. de Mello

---

## RESUMO

*Discutem-se os principais ensaios segundo uma evolução histórica, de primeiro caracterizar o tipo de solo e condição, e em seguida procurar determinar seus parâmetros de comportamento: ruptura, deformação, permeabilidade e tensões in situ. Enfatiza-se a bifurcação entre sofisticações ditadas por teorias e idealizações, e necessidades da prática profissional. Resumem-se os ensaios mais recomendados, principalmente os diretos sobre protótipos, enfatizando a necessidade de análise estatística para as decisões de projeto e obra.*

## SUMMARY

*The principal tests are discussed as per historical evolution, requiring first the characterization of the soil and its condition, and then seeking to determine the behavior parameters: failure, deformation, permeabilities and in situ stresses. The bifurcation is emphasized between sophistications dictated by theories and idealizations, and needs of professional practice. The most recommended tests are listed, principally the direct tests use prototypes, emphasizing the need of statistical analyses for backing the decisions of design and construction.*

Apresentação: I COPAINGE (Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica),  
Julho de 1997, Asunción - Paraguay.

Difundido em publicação: II COPAINGE, Novembro de 2003,  
Publicação em CD-ROM.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao aceitar a honrosa incumbência de resumir minhas apreciações sobre quadro geral tão amplo, não pude deixar de decidir vetorizar para a condição que pessoalmente reputo afetar prioritariamente **nossos geotécnicos**, e nossa condição do exercício da Geotecnia. Não pode deixar de ser uma visão subjetiva, e até certo ponto pertinente à geologia - geografia - meteorologia autóctone, e à época, tanto calendário, como relativa, de nossos labores.

Ressalto como típica nossa condição mais corrente de trabalharmos simultaneamente em muitas frentes, tanto de vida Acadêmica (ensino e pesquisa) como de Perenes Estudiosos na obrigação ansiosa de evitar que se abra o abismo entre a vanguarda do 1º Mundo e nossas competências, e, finalmente, como prioritariamente Profissionais da Engenharia Civil Geotécnica, míster no qual somos obrigados a aplicar a ousadia das decisões e soluções a despeito da sempre insuficiência de dados e conhecimentos. Ressalto ademais que perante a realidade e perspectiva de importarmos de enxurrada toda a gama de tecnologias estrangeiras fortemente

## 2 METAS : OBRA ↔ TEORIA

**TEORIA** deveria ter como meta principal a **capacidade de extrair de umas obras para aplicar, interpolada ou extrapoladamente, a outra (sempre um tanto diferente)**. Não pode prescindir do "entender" através de "modelo mental quantificado e quantificável", mas esta faceta, **sempre relativa em fluxo**, não pode desvirtuar a meta principal. Os ensaios de laboratório são ideais para o **entender**, porque trabalham por diferenciais parciais, já que todo comportamento complexo Y de obra é função de comportamento complexo X, mas  $Y = f(X) = f(a, b, c, d...n...z)$  e em laboratório é possível manter essencialmente "todas" as variáveis constantes, sucessivamente, determinando com sobeja precisão as variações  $\partial Y/\partial a$ ,  $\partial Y/\partial b$  etc causa-efeito, uma por uma.

A teoria-meta profissional depende dos parâmetros sugeridos pelas teorias de comportamentos das obras, e estes parâmetros são extraídos quer de ensaios de laboratório

patrocinadas por **marketing**, temos à nossa frente a árdua e séria opção de **não repisarmos em atrazo toda a trilha de desenvolvimentos menos documentados e balizados** pelos quais já passaram parcialmente uns e outros dos grupos inovadores do 1º Mundo. Se nos esquivarmos da decisão de escolher e descartar, no ponto de partida, estaremos condenando nossos Países a gastos duplicados e improdutivos, e a nós mesmos a continuarmos mais e mais atrazados. O Atrazo já é um grande ônus, mas dele podemos extrair grande vantagem se soubermos analisar a experiência já documentada, passando a **minimizar as importações menos convincentes**.

Como temos aproveitado as oportunidades de diversificar ao máximo os contactos de Pós-Graduação de nossos geotécnicos com inúmeros centros avançados de geotecnia do 1º Mundo, e estamos entusiasmadamente abertos à introdução de toda a gama de tecnologias, e não deixa de haver forte elemento de aplicabilidades diferenciadas e preferências subjetivas de uns e outros **ensaios e parâmetros**, permito-me atribuir muita importância a uma análise histórica crítica de vantagens e desvantagens, com o máximo de isenção.

quer de ensaios de campo. Assim os ensaios de **laboratório** servem a duas funções, tanto de desenvolver aprimoramentos do entendimento, como de procurar atender aos parâmetros para **projeto**.

Quanto a ensaios de campo, as duas tendências principais tem bifurcado entre umas intuições quanto a analogias **modelo-protótipo**, e/ou tentativas de extrair direto os parâmetros mais empregados nos cálculos de projeto segundo **modelos mentais de cálculos analíticos** → **numéricos** (modernamente vitoriosos em todo o território), tendência mista teórica-laboratorial com os subsequentes passos teórico-cálculo (fórmulas diversas).

Oscilaram com os tempos as tendências dominantes, dependendo da produção **acadêmica publicada**, que lucra da persistência de "escolas de pensamento" progressivamente empurradas para incrementar documentação validante, mais e mais rebuscada. Note-se que em contraposição as publicações típicas **profissionais** tendem a ser de casos extremos, **sucessos ou insucessos notáveis**, que geram "idéias" mas não destilam **procedimentos a**

serem ensinados e adotados. As preocupações se acirraram em vários **desafios prediction vs. performance** recentes, em que ficou flagrante o abismo entre as presumidas precisões acadêmicas de previsão, e a **realidade profissional**, esta não só bem mais retardada no tempo em relação aos avanços continuamente propostos, mas também indubitável e necessariamente dependente de **amplos coeficientes de ignorância e segurança**.

a) Pelo lado **Geotécnico** :

- Por um lado é incansável a tendência acadêmica, científica, de seguir buscando a "perfeição".
- Por outro lado, por motivos profissionais, práticos, é mais interessante manter constantes os "defeitos de segunda ordem", desde que consistentes, para acumular experiência prática estatística. Não adianta aprimorar um elo da corrente total mais do que tem sentido em função dos demais elos.

b) Pelo lado da **Engenharia Civil meta**, para a qual a Geotecnia é um franco desconforto, urge reconhecermos que são três as fortes pressões no sentido de **nos dispensarem** :

- Os Geólogos para Engenharia, geralmente satisfazendo com indicações de ordem macro.
- Os calculistas Estruturais satisfeitos com aplicações de Programas Software com um mínimo de pseudo-parâmetros, "elásticos" etc...

Os enormes progressos de máquinas e procedimentos de **tratamento do subsolo** que (a custos desapercibidos para muitos) forçam a hipótese ou conclusão de tratar o **solo como secundário**.

Reportando à frase chave "Stress is a Philosophical Concept ; Deformation is a Physical Reality", e aos fatos de que : (a) a Engenharia cria **formas** (funcionais) e luta contra o que as **de-forma**, e (b) solos são muito mais deformáveis do que as estruturas que neles se apoiam, podemos resumir que a Mecânica dos Solos começou com preocupações de grandes deformações, e, com 3 excessões, foi progressivamente reduzindo a

escala de suas preocupações (por várias razões, compreensíveis).

Assim, os parâmetros fundamentais focalizam a Resistência (ao cisalhamento, às vezes à tração) e Deformabilidade (volumétrica, "inexistente" noutros materiais, ulteriormente Cisalhante) ; com obrigação de incorporarem com complexidades muito importantes a Permeabilidade, e as Tensões in Situ (Histórico de Tensões).

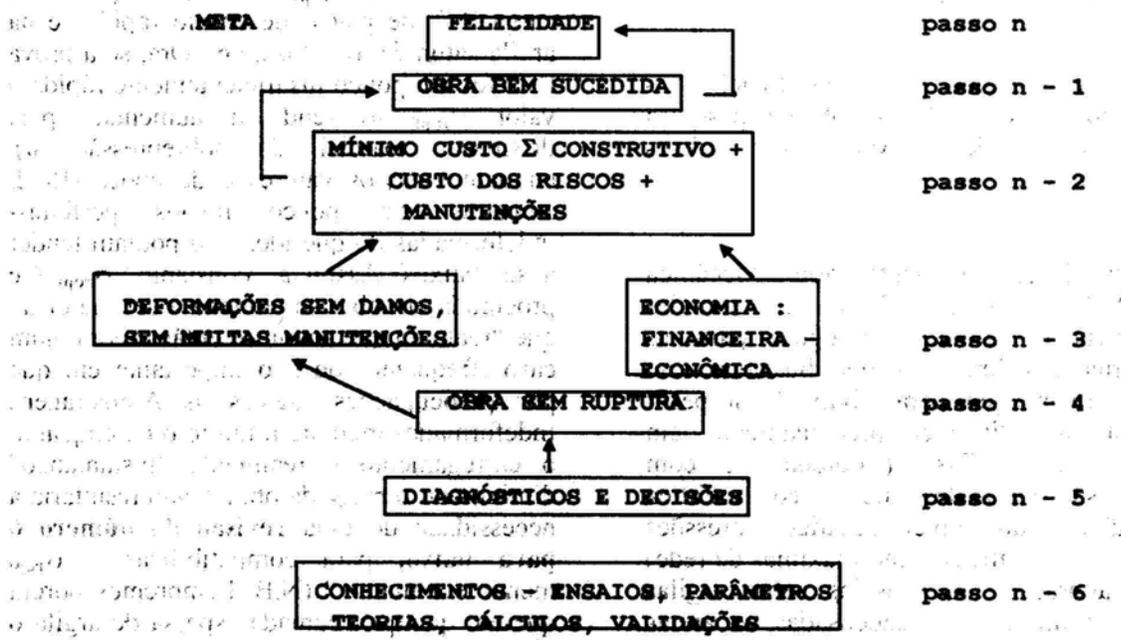
É mais que compreensível e justificável que cada época tenha dado prioridade a sua "plataforma" da batalha dominante da época, que nos sugere uma breve análise histórica, após a qual ofereço uma listagem na qual abreviarei etapas primárias (conquanto respeitáveis na época) partindo direto para a forma que interpreto como mais evoluida, e **submeto como recomendação**.

Assim, os parâmetros fundamentais focalizam a Resistência (ao cisalhamento, às vezes à tração) e Deformabilidade (volumétrica, "inexistente" noutros materiais, ulteriormente Cisalhante) ; com obrigação de incorporarem com complexidades muito importantes a Permeabilidade, e as Tensões in Situ (Histórico de Tensões).

É mais que compreensível e justificável que cada época tenha dado prioridade a sua "plataforma" da batalha dominante da época, que nos sugere uma breve análise histórica, após a qual ofereço uma listagem na qual abreviarei etapas primárias (conquanto respeitáveis na época) partindo direto para a forma que interpreto como mais evoluida, e **submeto como recomendação**.

Submeto o quadro seguinte:

**GEOTECNIA APLICADA ÀS OBRAS CORRENTES**



Assim, teríamos

<p><b>XL</b> <u>Moderno</u></p> <p><b>L</b> <u>moderno</u></p> <p><b>M</b> <u>moderno</u></p> <p><b>S</b> <u>moderno</u></p> <p><b>SS</b> <u>moderno</u></p>	<p><b>Residual <math>\phi'</math></b></p> <p><b>Large-strain consolidation</b></p> <p><b>Mud-debris flow</b></p> <p><b>Ruptura, resistência</b></p> <p><b>Adensamento</b></p> <p><b>Deformações interação solo-estrutura</b></p> <p><b>Deformações aceitáveis</b></p> <p><b>Micro-strains</b></p>	<p>[</p> <p>centrais nucleares</p> <p>sismos, vibrações</p> <p>]</p>
--	---	--

### 3. COMPREENSÃO HISTÓRICA.

Pela via histórica imagino os seguintes "movimentos" principais :

3.1 Bifurcação : identificação - caracterização da seção do subsolo; pesquisa laboratorial de Materiais ideais homogeneizados.

Terzaghi declaradamente criou a Mecânica dos Solos, bipolar, frente às grandes insuficiências da via geológica para as quantificações liminares que buscava : no campo, a sondagem para subdivisão do perfil do subsolo, divisível precipuamente em "areias" e "argilas" (saturadas), com intromissão tímida do "silte", e com enfática importância do Nível Freático (pressões neutras, hidrostáticas como máximas de rede); no laboratório, os ensaios sobre argilas saturadas amolgadas readensadas, e areias puras uniformes, e, em ambos os casos focalizando **separadamente** os problemas mais preocupantes, **ruptura** ao Cisalhamento Direto, e **adensamento-Deformação Volumétrica**.

Desnecessário discorrer sobre os progressos das Sondagens de Simple Reconhecimento, com a perfuração a trado até o N.A., a abolição da "Amostra Lavada" e a **amostragem representativa** com amostrador cravado; inclusive o diâmetro interno de  $1\frac{3}{8}$ " que nas argilas **insensíveis** serviu para muitos ensaios de Rc (compressão simples), e o registro dos golpes SPT para penetração entre 15 e 45cm para obviar às perturbações dos primeiros 15cm (bulbo de alívio de pressão).

O que desejo resumir é, por referência aos Ensaios de Laboratório da época, uma conceituação intrínseca, com falhas já frizadas, mas pouco lembradas apesar de poderem aumentar riscos. Faço-o para expor um princípio.

As primeiras pesquisas empregaram materiais homogeneizados, para estabelecer teorias. Teoria pela Teoria. Deixaram de lado (válido temporariamente, na época) a meta **obra**. Por exemplo, a importantíssima equação  $\sigma_{rupt} \approx 6c$ . Havia forte incentivo

para "aceitar" como a única teoria de capacidade de carga deduzida, Prandtl,  $\sigma_{rupt} = 5,14c$ . Em tais equações, os valores observados são  $\sigma_{rupt}$  obtido na prova de carga P.C. de placa (de ensaio rápido) e na argila saturada, o valor de c. Ora, se a prova P.C. for um pouco insuficientemente rápida o valor  $\sigma_{rupt}$  só tende a aumentar (pela dissipação parcial de sobrepressão u): enquanto isto os valores c da época (Rc/2, amostras um pouco menos perfeitas-indeformadas do que ideal) só podiam tender a ser baixos. Assim a "constante"  $\sigma_{rupt} / c$  procurada em obra so tenderia a ser maior do que "real". O que acontece então, agora, num caso (frequente) de silo importante em que por preocupações lógicas as Amostragens Indeformadas melhoram muito o c, enquanto o carregamento é realmente "instantâneo" diminuindo o  $\sigma_{rupt}$  da obra? Não resultaria a necessidade de uma **revisão do número 6 para baixo**, para compatibilizar o  $\sigma_{rupt}$  menor e c maior? (N.B. Lembremos porém que em qualquer camada espessa de argila o uso de  $s = c$  constante deixa de ser aplicável, atenuando o erro perigoso). Como aceitar tacitamente uma perda de tal patrimônio de conhecimento admitido?

Outro exemplo importante se apresenta quando na conferência de resistência ao cisalhamento das argilas saturadas, Boulder Colorado 1960, Bishop e Bjerrum se empenhavam em ganhar a batalha das análises de estabilidade de taludes, Pressões Efetivas  $\sigma'$  vs. Pressões totais  $\sigma_t$ , e ensaios correspondentes. Deslizamentos rígido-plásticos, indiscutíveis na época. Que pressões neutras u? Valores interpolados (para a superfície de ruptura) a partir de piezômetros Casagrande instalados uns dias após as rupturas: nenhuma hipótese de sobrepressões incrementais (de cisalhamento rápido) **na superfície em cisalhamento no momento do cisalhamento**. Nenhuma indagação quanto à condição anterior e ao **fator-gatilho**. Mas, acima de tudo, nos cálculos resultantes, buscaram fazer **coincidir ruptura com FS = 1,00**.<sup>1</sup> Enfim, a tal ponto tiveram que manobrar (N.B. ganharam a

<sup>1</sup> N.B. O que tenho insistido ser ilógico, pois que algum fator-gatilho provoca um  $\Delta FS = FS_1 - FS_2$ , e a ruptura ocorre por passagem pela condição  $FS = 1,00$ , podendo chegar a valores pouco ou muito inferiores, rupturas mansas ou catastróficas.

batalha, enriquecendo a Mecânica dos Solos) que quando os valores de  $c_u$  melhoraram mediante os ensaios vane, Bjerrum teve que criar o **coeficiente de ajuste** (absorvido e divulgado sem restrição em quase todas as publicações dos últimos 25 anos). O mais incompreensível é que o Coeficiente de Ajuste proposto, para compatibilizar um ensaio **mais e mais indeformado** foi "correlacionado" com o **IP**, um índice grosseiro, da mesma amostra quando **totalmente amolgada**. Que correlação, salvo casual, poderá haver entre a Sensibilidade,  $R_c$  ind /  $R_c$  am, e o **IP** ?

Os princípios acima exemplificados preocupam e excitam os Geotécnicos, que amam os solos e a geotecnia, mas são desrespeitosamente suprimidos pelos que sentem desconforto com refinamentos, tais refinamentos que exigem Conhecimento, Reflexão, Humildade e Julgamento entre "Parâmetros Medidos".

Cabe enfatizar ainda, de uma vez por todas, o princípio básico, inalienável da Engenharia (e Geotecnia) de determinar sempre que possível valores máximos, e mínimos, para orientar o Julgamento. E, na eventual dificuldade de julgar, para evitar falta de decisão, facultando sempre a adoção de valores **super-pessimistas**: quem paga **desapercebidamente** o incremento desnecessário de custo é a Sociedade, seu custo de vida, e de competição pela sobrevivência no mundo globalizado de Tecnologia e Capital. Como exemplos citam-se os muitos casos de estabilidade calculados (vergonhosamente) com  $\phi'$  residual, e, no outro extremo, a determinação de módulos de Elasticidade  $E$  máximos por microsísmica.

**3.2. Segunda fase : Aprimoramentos de amostragens-ensaios laboratoriais; Ensaio in situ tipo modelo; Correlações de ensaios-índice.**

Foi uma fase de continuação das "teorias iniciais" mas já com aplicações a condições in situ, solos sedimentares "areias" e "argilas saturadas" (solos genéricos nem cogitados). Enfrentando o problema das **perturbações dos efeitos de instalação** (in situ) e dos **Amolgamentos** (principalmente em amostras,

em parte nos casos in situ), houve uma abertura do leque de tentativas. Notem-se as descobertas marcantes anteriores que condicionaram as principais orientações:

**1) Nas Argilas :** A grande importância da **Sensibilidade  $S_t$** , e portanto, qualidade de amostragem; os importantes parâmetros de amostragem; os importantes parâmetros de  $\sigma'_p$ , **pressão de pré-adensamento**, e  $C_c$ , **índice de compressão virgem**; a compreensão das séries de ensaios (inclusive em estágios) **UU, CU, CD**, com redução do uso do ensaio **Rc**.

À vista da importância do índice  $S_t$ , cabe registrar desde logo a crítica quanto ao grande número de trabalhos profissionais e publicações que nos últimos 10-15 anos **deixaram de executar sistematicamente o ensaio, deveras simples, de Rc (amolgado)** para sempre quantificar a  $S_t$  em ordem de grandeza, emendando com a experiência acumulada dos anos 1945-80. A  $S_t$  varia muito com a **qualidade da amostra**, o que sempre exige a descrição mínima adequada do tipo de amostragem - amostra.

**2) Nas Areias:** dificuldades de amostragem indeformada e presunção da suficiência de "amostras reconstituídas com densidade igual";  $\phi'$  único parâmetro determinante; sucesso com granulometrias de filtros.

Para não me estender menciono como exemplos o **VANE-TEST** (palheta, nas argilas saturadas,  $s_u$  in situ), os progressos do **CPT** e **SPT**, usos de **P.C.'s "estáticas"** tanto diretas como nas estacas e no fundo de estacas escavadas, etc... Com relação ao **CPT** cabe mencionar uma sugestão (Begemann, 1965) de empregar um cone especial dotado de "manga para medir Atrito Local", com interesse compreensível para integração de atrito lateral (baixo, recentíssimo, e aço-solo) para estacas: o absolutamente inaceitável foi e é a sugestão de empregar a **Relação Friction Ratio** ("resistência" de ponta e de atrito local) para **identificar - caracterizar os solos atravessados**. Seria um retrocesso de conceito liminar da geotecnia, absolutamente inaceitável; solos são demasiado heterogêneos e complexos para serem identificados e classificados por índices tão indiretos.

Para exemplificar a relevância da apreciação histórica limito-me a resumir pontos-chave das Amostragens-Ensaio progressivamente "melhores" nas argilas saturadas. A publicação do primoroso e clássico volume "Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes", M. Juul Hvorslev, ASCE-WES, 1949, forneceu as bases iniciais dos requisitos como **especificações de métodos** quanto aos amostradores, dimensões, cravação estática, controle do comprimento recuperado, etc. Uma quinzena de anos mais tarde foi notável a inventividade do Amostrador Osterberg de pistão fixo cravado por pressão hidráulica com controle absoluto e contínuo do comprimento cravado e amostrado. Começaram a ser apreciadas com seriedade os indicativos de **qualidade das amostras** em função dos ensaios edométricos e triaxiais, **afetando os parâmetros de projeto mais importantes da época**: alterações conjugadas de  $(\sigma'_p \text{ e } Cc)^2$  ambos caindo com piora da qualidade, e, também de  $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$  e  $(\Delta L/L\%)$  pico, o primeiro aumentando conjugadamente com a diminuição do segundo. Merece ênfase o trabalho de Schmertmann, 1955 (Fig.1) engenhosamente empregando diferentes alturas de corpos de prova edométricos; e a observação de de Mello, na mesma época (Fig.2) conforme tardiamente sugerido em Stockholm ICSMFE, 1981.

Skempton e Sowa, 1963 haviam exposto o princípio muito importante (ressalvados os solos com micro-cimentações) de que a **capilaridade era responsável pela preservação do índice de vazios constante (aproximadamente)**. As consequências deste fato não foram devidamente absorvidas no tocante a dois fatores importantes, quase sempre inexoráveis, a serem conscientemente compensados: - (1) devido ao **bulbo de alívio de pressão** no fundo do furo (combatível com lama bentonítica especialmente densificada e/ou com ar comprimido etc.) um **método constante de perfuração-amostragem** ipso facto extrai amostras progressivamente piores com o aumento da profundidade, porque a tendência ao inchamento aumenta, e o potencial de

<sup>2</sup> É muito estranho ter que enfatizar nunca terem sido feitas (publicadas) regressões estatísticas duplas dos dois parâmetros, sempre alterando conjuntamente com o amolgamento.

capilaridade disponível não tem obrigação de crescer em compensação; (2) a amostragem em **bloco manualmente talhada**, enfatizada pela escola de Boston como muito superior e indispensável, resultou em grande frustração na famosa e dispendiosa pesquisa da Argila de Londres no **Ashford Common Shaft** (Ref.3), conforme detectado e exposto por de Mello, 1969 (Figs.3,4). Note-se que na brilhante Rankine Lecture de Burland, 1990, persistiu a hipótese de que um método de amostragem "indeformada" constante com a profundidade não sofreria da (inevitável) perda gradativa de qualidade da amostra.

Finalizando esta importante trajetória reproduzo na Fig. 5 anexa os resultados da pesquisa especial realizada no campo experimental de Bothkennar, U.K. (Geotechnique, 1992, June, XLII,2; em específico, reproduzindo a Fig. 5 e Fig. 21 do artigo de Hight D. W. et al "Disturbance of the Bothkennar clay prior to laboratory testing" pgs. 199 - 217).

Ressalto:

(1) a pena de que os dois mais avançados amostradores, Laval e Sherbrooke (dando resultados diferentes entre si), de muito pouco uso na profissão, não foram adequadamente (estatisticamente) comparados com o "melhor" anterior, Osterberg de 4" (já razoavelmente difundido, pelo menos como referência) para estabelecer a **indispensável ligação com a experiência passada (já ligada a obras protótipo)**;

(2) a amostragem em bloco praticada pelo amostrador Sherbrooke já procura confinar imediatamente o Bloco, diminuindo a dependência exclusivamente da capilaridade (propósito que se perde antes do encaixe da caixa e, no laboratório, na talhagem dos corpos de prova);

(3) a impressão conclusiva de que **nunca escaparemos de algum grau de perturbações em amostragens - ensaios**<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Sintetizando trabalhos inúmeros de avançadas pesquisas acadêmicas teríamos que reconhecer Amostragens, e técnicas de ensaio compensatórias orientadas para estabelecer toda a gama de ensaios-parâmetros correspondentes à escolha ampla de qualidades: **totalmente amolgada, parcialmente amolgada, semi-indeformada, indeformada** (ex. Osterberg 4"), **pseudo-perfeita, perfeita, intacta** (as últimas três baseadas em presumidas

Quais as perspectivas de melhora ? Pequeníssima no 1º Mundo salvo para obras bilionárias (plataformas oceânicas, centrais nucleares, etc.) porque nele Acadêmicos não tem acesso a obras correntes (suficientemente repetitivas para as lições estatísticas), e os Executores são formadores de lucro e não de opinião. A consequência foi a bifurcação para os **ensaios in situ sofisticados** (buscando fugir de amostragens - ensaios): mas apareceram as frustrações de a) complexidade - desconhecimento do status-quo in situ, condição de contorno não controlável; b) pequena escala; c) perturbações de instalação, influentes maximamente na zona imediata lideira.

Quanto às **correlações empíricas entre ensaios-índice**, assinalamos que pertencem a esta época as mui difundidas pseudo-correlações, **galhardamente oferecidas para apoios mínimos de socorro profissional**, tais como  $Cc \approx 0,009 (W_L - 10\%)$ ,  $CPT (kg/cm^2) = n SPT$  (n variando com granulometria), etc. todas muito preliminares, de **parâmetros únicos**, sem regressões nem dispersões. O estranho é anotar com que aceitação persistem, porque insucessos não são expostos e publicados.

### 3.3 Terceira fase: aprimoramentos dos ensaios e/ou investigações in situ.

Antes de prosseguir cumpro a obrigação de chamar atenção especial, do profissional, para uma iniciativa empurrada com bastante frequência pelo setor Acadêmico, que é a dos **parâmetros da critical state soil mechanics** (iniciada em Cambridge, Wroth, Roscoe, Schofield, Burland, louvabilíssima, com **argila inativa e insensível cam-clay**, caolinita, amolgada-readensada, para melhor compreensão intrínseca do comportamento das argilas com relações constitutivas elasto-plásticas puras). Gera algo entre 6 e 15

reconstituições de estados de tensões in situ e extrapolações). A cada categoria caberia determinar o Índice de qualidade **IQ**, e o Coeficiente de Ajuste **CA**, para afinar projeto - realidade da obra.

Em rápido aparte lembro que uma das aplicações dos **BENDER ELEMENTS** incrustados nas amostras seria a do acompanhamento das sucessivas perdas de qualidade dos corpos de prova.

parâmetros, o que passa a ser impressionante, mas é fácil para programas computacionais. Honestamente, porém, já parte, de início, da adoção de comportamentos idealizados (ex.  $Cc$  absolutamente reto - a comparar com a realidade de Bothkennar como mero exemplo) e, embora se mantendo como **ótimo modelo didático** para transferir resultados de um tipo de ensaio para outros, encontra muito pouca explicação com **solos reais** (Ref.5,8 e 18).

O principal ensaio que recebeu intensa pesquisa acadêmica e prática, tanto de desenvolvimentos progressivos como de procedimentos de interpretação e uso dos resultados, foi o CPT, desenvolvido nos Países Baixos (Bélgica, Holanda). O subsolo bem homogêneo-dicotômico e conhecido permitiu prescindir da fase inicial (**inescapável**) de reconhecimento dos solos atravessados (o que impõe o SPT); e a visão inicial era a de **modelo de estaca de deslocamento** (tipo Mega, assemelhada à cravada) penetrando argilas moles até adquirir boa resistência de ponta nas areias compactas subjacentes.

É absolutamente impossível resumir aqui o imenso dossier de progressos no uso do CPT e suas aplicações. Estas começaram como meramente  $R_p$  e Atrito lateral **AL** (inicialmente Total, depois Local, junto à ponta), **resistências**; incorporaram há tempo também as determinações de valores **E**. Supriram a séria lacuna quanto à informação das pressões neutras (N.A. nível piezométrico) introduzindo o CPTU. [ N.B. Continuam incapazes de identificar os solos genéricos atravessados, incapazes portanto de evitar as sondagens SPT como primeiro passo ]. Analisando a geração de sobrepressão neutra  $\Delta u$  da própria penetração, passaram a permitir interpretação de dissipações  $\Delta u = f(\Delta t)$  facultando determinações do Coeficiente de Adensamento  $C_v$ . Finalmente incorporaram ainda a versão microsísmica SCPT para determinação de valores máximos de módulos **E** em micro deformações. Na última década, mediante séries meticolosas de ensaios nas **câmaras de calibração** estabelecem inúmeras correlações com outros parâmetros, tais como Densidades Relativas, **RD**, e Relações de Sobreadensamento, Overconsolidation ratio (**RSA, OCR**).

**SENÕES.** Por enquanto só investigaram areias puras e argilas saturadas plásticas. Não escapam das críticas de: (1) solos genéricos continuam órfãos, (2) valores locais muito sensíveis, zig-zagues acentuados dificultando escolha de valor de projeto, (3) efeitos imediatamente circundantes bem influentes, (4) ainda não convenceram em alcançar o maior sucesso, desejado e prenunciado, nos desafios **prediction vs. performance** de obras.

Já foi enfatizado (Ref.12) que se o SPT não tivesse sido encarado desde o início como **índice grosseiro, e rudimentarmente "padronizado" por intuições**, mas tivesse sido encarado como relacionado como algo-modelante da estaca cravada por incrementos, e assim submetido a alguma pesquisa sistemática (com desenvolvimentos progressivos) à moda Européia, poderíamos agora estar lidando com instrumento de primeira investigação absolutamente imbatível no mundo dos solos genéricos.

Julgo oportuno agora retomar o assunto do SPT, **insubstituível pela sua globalidade em primeira instância**, e examinar de uma vez suas presumidas aplicações, potencialidades e necessidades (até o presente) desde que se demonstrou (de Mello, 1971) tratar-se de um **índice validável**, lembrando que :

(1) não pode ser tratado como **pedra filosofal medieval** que atende a tudo (com adequado grau de precisão). Vejam-se os efeitos nocivos de **assassinato da Geotecnia** tal como ocorreu em São Paulo em função de umas pseudo-correlações de há 20 - 22 anos ;

(2) seduz os ignorantes desinteressados a discutirem sua pouca validês em função dos **erros erráticos** (energias de cravação e disparidades dinâmico-estático) para se confortarem em postergar investigações dos **erros sistemáticos**;

(3) **merece investimento**, tanto genérico como local.

Para bem qualificar (repudiar - aproveitar - louvar) as publicações que se seguiram a 1971, podemos resumidamente sintetizar:

(a) Fornece um índice de consistência - resistência, um tanto afetado por comprimento de hastes e furo, principalmente

nos **primeiros metros, mais importantes para sapatas**. Conferir em Câmara de Calibração, e com mais estatística de provas de carga P.C. de placas (a otimizar com relações de P.Cs. verticais vs. horizontais, muito baratas).

(b) É um índice muito bruto (pequenos números para variações que cobrem vasta gama) p.ex. para fundações de prédios desde  $\sigma_{ad} = 5^t/m^2$  para sobrados, até  $\sigma_{ad} \approx 40^t/m^2$  para 20 andares. Sugere-se, e é incompreensível porque não tomou raiz ainda, o uso de **energias diferenciadas SPT<sub>30</sub>, SPT<sub>50</sub>, SPT<sub>75</sub>, SPT<sub>90</sub>** para quedas de 30, 50, 75 (atual) e 90 cms;

(c) Para bem aferir a exclusão de problemas **dinâmico vs. estático**, foi muito boa a incorporação (Brasil  $\geq$  1985) do SPT-T com medida do **torque T** no amostrador conforme cravado-embutido: interessa, em segundo grau, a real penetração, externa, e o comprimento do plugue resultante. De minha parte não posso deixar de desaproveitar entusiasmos por novos endeuamentos adicionais atribuídos à relação SPT/T; salvo para escoimar valores perceptivelmente espúrios;

(d) Óbvio o SPT ter alguma relação indireta com indeformabilidades porquanto materiais mais resistentes costumam ser também menos deformáveis : mas a **relação, indireta, tem muita dispersão estatística para uso**, salvo possivelmente diferenciada de solo a solo.

(e) Sendo indicador de resistência (predominantemente de Atrito lateral, e não de Resistência de Ponta como julgava de Mello 1971) é absurdo pretender tirar muitas incógnitas ( $c^t$ ,  $\sigma^t_h = K^t \cdot \sigma^t_v$ ,  $\phi^t$ ,  $ds/du$ ) de uma só equação. De Mello sugeriu alterar formas do amostrador (mediante pesquisa programada) para tentar aumentar o número de equações compatível com número de incógnitas. Ver um exemplo na Fig.6. Hipótese aguarda padrinho, e ensaios em Câmara de Calibração.

(f) Lamentamos que por "wishful thinking" os 3 conjuntos de ensaios interpretativos feitos (sobre areias), Gibbs-Holtz comentados

por de Mello 1971, e ulteriores Schmertmann-Palacios, e Marcuson III, tenham interpretado diretamente para  $RD = f(SPT, \sigma'_v)$  quando não existe nas areias genéricas nenhuma relação razoável  $\varphi' = f(RD)$ , e a sequência lógica é  $\varphi' = f(SPT, \sigma'_h)$  seguido de  $RD = f(\varphi')$  para cada areia.

(g) Em comparação com a quinzena de anos de intensas investigações do CPT e PMT em Câmaras de Calibração, brada aos céus a necessidade de um programa atualizado de ensaios SPT - T (com energias e formas diferenciadas, de interesse) em Câmaras de Calibração. Os resultados terão que ser interpretados segundo regressões múltiplas, de orientação lógica. Devo confessar que por razões que reputo muito fortes questiono, não obstante Skempton, 1986, a capacidade de detectar influências de envelhecimento ("ageing") associadas ao SPT.

(h) De mesma forma como modernamente se passou a incorporar medidas de módulo micro-sísmico nos ensaios SCPT, sugere-se o desenvolvimento do ensaio S - SPT para caracterização análoga do valor limite máximo de módulo, como orientação, (Fig.7).

Durante aquela fase ocorreu também o período de preocupação com relação às contribuições de ponta e de atrito em estacões escavados (Large Bored Piles), sempre em fase pré-execução, portanto pré-efeitos executivos, como base para projeto. Foi frequente o uso de provas de carga de placa em diferentes profundidades, em perfurações de diâmetro médio (8" a 12", Building Research Station U.K.). Incluíram-se P.Cs. em estacas-in-loco instrumentadas, indicando as bem diferenciadas contribuições carga-recalque de Atrito (1 cm de deformação) e Base (10% D).

Quanto às P.C. diretas, e a reiterada observação de recalques de sapatas bem menores ( $\approx 1/3$  a  $1/7$ ) dos calculados por extrapolações de módulos extraídos de P.C. (de 0,85 m de diâmetro) ressaltou: (1) a pouca e questionável informação sobre efeitos de escala modelo-protótipo de placa  $\rightarrow$  sapata  $\rightarrow$  radier (raft) em perfis de subsolo tipo Carrier-Christian, e (2) a importância da película de descontinuidade placa-solo

influindo na extrapolação de forma pessimística, o que foi corrigido (Imperial College e BRE) tanto nos triaxiais especiais como nas P.C. pelas medições diretas de deformações no meio do C.P. ou Bulbo de Pressão da placa mediante "tell-tales" (Ref.10).

**3.4 Quarta fase** : com o avanço marcante da computação numérica, e o sucesso da teoria de expansão de cavidade, desenvolvimento dos Pressiômetros e Dilatômetros para determinação in situ dos parâmetros exigidos pelos cálculos de projeto. No Laboratório, primeiras determinações de sucção.

Os desenvolvimentos partiram dos Centros Acadêmicos mais avançados, para determinações de  $E$  e  $K'_o$  (e também de condições de plastificação (ruptura)) prioritariamente, tudo via retro-análises das curvas de tensão-deformação in situ. Esbarrando nas imprecisões geradas pelos efeitos de instalação, as alterações imediatamente circundantes aos aparelhos, de influência proporcionalmente muito maior frente ao aparelho do que nas Obras (pelos diafragmas ou estacões escavados etc), os esforços não se demoveram; passaram às variações de métodos de instalação, tais como os "push-in" e os "self-boring" pressiômetros e dilatômetros, com uso possível de placas de espessuras diferenciadas.

Entre os Pressiômetros, já era bem anterior (uma vintena de anos) o Pressiômetro Ménard de uso promovido com sucesso exclusivamente na França, até que na Universidade de Cambridge (e depois Oxford), Wroth e outros passaram a consagrar, desenvolver, e promover os PMT, CAMKOMETER, com o nome gerado por CAM-bridge,  $K'_o$ , meter.

Entre os Dilatômetros, já em uso na Mecânica das Rochas, adquiriu importância progressiva o Dilatômetro Marchetti, DMT, permitindo diferenciar as  $K'_o$  e  $E$  em diferentes direções.

Ensaio em Câmaras de Calibração forneceram boa documentação de validação

em solos ideais. Os problemas persistem nos solos genéricos e especiais. Quanto à forma de perfurar e instalar caberia ainda investigar as seguintes variações:

(a) nos solos insaturados, a perfuração mediante líquidos não-molhantes ou rotopercussão a ar comprimido controlado ;

(b) em todos os solos, a sistemática variação da proporção do efeito de película perturbada mediante variação progressiva do diâmetro ou espessura do aparelho, essencialmente segundo a idéia de Schmertmann 1955 nos ensaios edométricos, tal como é feito com o ensaio dilatométrico **Stepped-Blade-Test** (Ref.9).

Tem interesse concomitante o fato de que o interesse pela determinação da pressão lateral  $K'_0 \sigma'_v$  (sempre supondo conhecida a pressão vertical, o que depende da inexistência de efeitos de "hang-up", de silo, por tensões verticais cisalhantes tais como enfatizadas nos núcleos terrosos nas barragens mais altas de terra-enrocamento), inclusive mediante os ensaios de fraturamento hidráulico por injeção de água. De novo, levanta-se a hipótese do interesse do uso de líquidos não-molhantes.

Finalmente, merecem menção também dois fatores relativos às pressões neutras:

(1) as primeiras preocupações por tensões de sucção e sua medida ;

(2) os ensaios de permeabilidade in situ, e de dissipação de sobrepressões neutras in situ (CPTU) ambos ainda sofrendo do problema de que a fortemente maior proporção (cerca de 80 - 90%) da perda de carga se dá dentro de uma espessura anular muito pequena ao redor, inexoravelmente adulterada.

#### **4. PARÂMETROS MAIS CONSEQUENTES REALMENTE DESEJADOS E ENSAIOS QUE OS FORNEÇAM.**

Deixemos de lado a louvável busca perene pelo conhecimento "científico puro". Vejo como minha obrigação dirigir-me ao problema profissional, e resumo as necessidades seguintes enfatizando que uma por uma exige algum ajuste consciente seletivo dependente do problema enfrentado.

4.1 Em primeira instância, o já estabelecido SPT-T, com seus ajustes complementares de: (a) Energias variadas sistemáticas, (b) incorporação micro-sísmica S-SPT, (c) possíveis incorporações de formas complementares do amostrador.

Note-se que em muitas condições no Interior de nosso subcontinente a investigação liminar pode ser feita mais convenientemente (acima do N.A.) mediante abertura de poço de inspeção; as determinações de densidades-in-situ devem ser referidas por comparação com as densidades de compactação Proctor, porque temos centenas de milhões de metros cúbicos compactados muito controladamente para nos servirem de referência para todos os parâmetros de obras.

4.2 O Borehole Shear Test (Ref.6) deveria ser prontamente introduzido para uso sistemático nos solos genéricos, fornecendo as desejadas "envoltórias Mohr-Coulomb" de resistência (criteriosamente orientada e extraída). São flagrantemente estereis as críticas quanto à insuficiência de domínio das condições de contorno das tensões de ensaio, porquanto o mesmo afeta a obra. Tudo tem que ser avaliado em termos comparativos da solução alternativa; que ensaio e/ou correlação (ex. f(SPT)) pode fornecer algo de remotamente comparável? Foram as sofisticadas acadêmicas que retardaram tanto o aparecimento deste ensaio.

4.3 Dilatômetro Marchetti, DMT, inclusive com a fácil possibilidade de ajustes de métodos de instalação e espessuras sistematicamente variadas. Determinação prioritária de  $E$ ,  $K'_0$ , e mesmo, em certos casos, da resistência ao cisalhamento in situ.

4.4 Provas de Carga de placa, com as melhoras que se impõem: (a) por um lado mediante melhora das condições de "assentamento" e/ou o emprêgo dos "tell-tale" (tassômetros) no bulbo de pressões, para melhorar a determinação do  $E$  efetivo; (b) por outro lado, mediante sistemáticos pares de provas, horizontais conjugadas com as respectivas verticais, para obter correlações, e passar a minimizar as verticais muito mais caras.

Cabe ressaltar o significativo interesse em realizar micro-sísmicas (crosshole etc.) para estabelecer como referencial o E máximo (ver por exemplo Fig.8). No meu entender **aguarda desenvolvimento** a hipótese de extrair Módulo dinâmico direto do bulbo de pressão da sapata mediante **pancada adequada aplicada sobre ela**.

4.5 Ensaio CPTU, para as interpretações cabíveis, inclusive de  $u$  e  $\partial u / \partial t$ , seja por relações de comparações diretas, seja por via de parâmetros teóricos conferidos segundo teorias e câmara de calibração.

4.6 Perante um problema profissional muito importante, o de **estacas**, recomendo as Provas de Carga Dinâmicas PCD, e a maximização da Prova de Carga Estática direta mediante a **Expancell** (Ref.15).

Em breve aparte consideremos o absurdo da intromissão de atribuições e responsabilidades, na maioria dos casos, inclusive com desrespeito às **especializações** dos diferentes componentes da orquestra sinfônica que executa a obra.

**PROJETISTA.** Mediante todas as investigações, parâmetros, e teorizações, a Projetista elabora o projeto preliminar, dando sua **escolha aproximada da melhor opção e carga de trabalho das estacas para o projeto**, e, para fins de julgamento entre as concorrentes, fornece sua estimativa de comprimento médio das estacas e total respectivo, bem como o critério de cargas-recalques e coeficiente de segurança. O que a projetista tem de conhecimento **geral** favorece tal exercício do passo inicial: todavia, para bem estimular os desenvolvimentos das especializações, é importante permitir e estimular que **cada executora especializada forneça sua proposta**, de acordo com sua otimização e experiência de controle de qualidade; cada executora fornece suas **próprias bases (documentadas) de inspeção da execução**.

Escolhida a Concorrente Adjudicanda, sob critérios técnicos e econômicos, a Projetista finaliza o Projeto Definitivo.

Por exemplo, no caso de estacas cravadas, é a Executora que tem que indicar com que parâmetros de cravação (peso e queda de martelo, bem como nega) e **que fórmula dinâmica de sua experiência comprovada** ela propõe se responsabilizar. O conceito da Qualidade, ISO-9000, se aplica exatamente às repetitividades empregadas pelas Executoras Especializadas. O mesmo (em forma diferente) se dá com relação às Estacas Escavadas, cada uma com efeitos um tanto diferenciados de alterações (inexoráveis e frequentemente muito significativas) dos valores de Atrito e Ponta em comparação com os Teóricos (e mesmo os aproximadamente estimados pela Projetista).

**INSPEÇÃO.** Em princípio esta se limita a garantir o cumprimento das cláusulas contratadas: importante lembrar, porém, que face a um certo grau inevitável de variabilidade da própria informação básica do subsolo, é necessário que a Inspeção saiba como atuar perante **ajustes que se sugiram de acordo com a própria execução, sob responsabilidade executiva assumida pela Executora**.

**COMPROVAÇÕES DE GARANTIA.** Obviamente a garantia final só resulta nos casos já bem sucedidos que estabeleceram a documentação da experiência da executora. Tomando, porém, o caso das estacas cravadas como exemplo, existem tres etapas de controle: (1) Em todas as estacas é exercido o controle da Nega, Repique e Comprimento Efetivo Cravado, conforme cabe incorporar na Fórmula Dinâmica indicada; (2) Em algumas estacas, realizam-se Provas de Carga Dinâmicas PCDs que, conforme bem demonstrado na última dezena de anos, constituem de forma rápida e barata uma boa representação da Prova de Carga Estática (Ref.1). Note-se que a execução de PCDs constitui um **ensaio in situ muito importante moderno**, muitíssimo mais útil do que dezenas de esforços paralelos do setor acadêmico. É necessário esclarecer que **podem e devem ser realizadas as PCDs também em estacas escavadas**, com a incalculável vantagem de serem realizadas as provas nas estacas **exatamente conforme executadas com todos os seus defeitos de execução**; e, pela rapidez e economicidade permitem, até que enfim, estabelecer médias e

dispersões estatísticas, problema frustrante há 5 décadas ! Ressalto estes ensaios PCD como um dos mais importantes incrementos modernos aos ensaios in situ.

A segunda comprovação de garantia (também aplicável principalmente nas Estacas Escavadas Moldadas in Loco, mas também adaptável às Estacas Cravadas) consiste na execução de Provas de Carga Estáticas PCE de grande facilidade, rapidez, e economicidade mediante a técnica EXPANCELL empregando células tipo Freyssinet para "quebrar" a base de estaca próximo à ponta, e reagir contra o fuste para ensaiar as cargas-recalque tanto da base como do fuste (para cima). Se for insuficiente a reação do fuste, obviamente a PCE será executada pela técnica tradicional empregando "cargueira" ou tirantes.

#### 4.7 Sucção (Ref.13) e Porosimetrias (Ref.7). Permeabilidades.

Para muitos casos, tais como os de estabilidade de taludes naturais, e instabilizações por chuvas e infiltrações, será necessário tornar muito mais frequente a determinação de sucções segundo técnicas já hoje dominadas. No meu entender nos solos superficiais tropicais haverá necessidade de conjugar tais determinações com ensaios de Porosimetria, inclusive distinguindo-se entre os macroporos e as porosimetrias das nucleações.

#### 4.8 Pressão de pré-adensamento.

Um parâmetro que passou a assumir progressivamente maior importância na última vintena de anos é a Pressão de Pré-adensamento nas argilas, obviamente, mas inclusive extensiva aos solos arenosos. Tal importância adquiriu o parâmetro  $\sigma'_p$  e a relação de sobre-adensamento, RSA, overconsolidation ratio OCR, que só nos cabe estranhar que ainda dependemos (para sua determinação) de um só procedimento e ensaio; a amostragem bem indeformada, e a execução de ensaios de compressão volumétrica (edométrica ou triaxial). Já mencionei que o parâmetro da compressão virgem  $C_c$  vem conjugado, e deverá ser

estabelecido por correlações estatísticas de dois parâmetros.

4.9 Micro-sísmica crosshole para determinação de módulos mediante as ondas S (de preferência): útil de per si para algumas finalidades especiais, fornece também uma indicação do limite máximo do módulo E para microdeformações (Ref.14).

4.10 Correlações diretas em obra: exemplo, execução de tirantes em solo.

Quanto mais os centros avançados acadêmicos se concentram em parâmetros "científicos" sofisticados, mais eu concluo que o abismo entre teoria e prática só tem aumentado as dispersões: é processo inexorável da crescente meticulosidade. Não nego nem deprecio a enorme valia do bom entendimento teórico dos fenômenos, pois são eles que ajudam a geração da sensibilidade judiciosa do julgamento ("Judgement") sempre indispensável pelas diferenças de caso a caso, por pequenas sejam (antes das integração). Mas, considerando as significativas heterogeneidades, no campo, de elemento de solo a elemento de solo, e de efeitos de execução (semi-destrutivos) de ponto a ponto e caso a caso, concluo a favor da maximização não de ensaios-parâmetros analíticos, a serem integrados numericamente, mas de procedimentos integrados in natura, nos protótipos, permitindo correlações ulteriores diretas.

Foram muitos os casos de tirantes em solo que deram carga de ruptura (tardiamente comprovada) muito inferior à prevista ; serão outros tantos de casos opostos em exagêro, com os custos respectivos. A razão principal decorre do histórico de que tirantes em rochas empregaram, naturalmente, o procedimento de perfuração por "lavagem"; e assim se transferiu para os solos, com efeitos frequentemente muito graves e inestimáveis. Submeto como muito promissor (com correlações a serem apresentadas em trabalho futuro) o procedimento desenvolvido pela ARCOS-Arquitetura e Construções Ltda, Eng. Pedro Elísio C.A.F. da Silva, pelo qual o furo é realizado empurrando a tubulação de revestimento, com registro da carga necessária; o tirante instalado em tal furo é de

carga de arrancamento e não de penetração, mas não deixa de ter alguma relação plausível, que faculte melhor previsibilidade.

## 5. COEFICIENTES DE AJUSTE E ATITUDES PERMANENTE ALERTAS A APRIMORAMENTOS.

Em primeiro lugar temos que lembrar sempre que por melhor que tenha sido a intenção e a **respeitada paternidade de determinada proposição**, quer de ensaio e parâmetro, quer de correlação, interpretação, e uso respectivo, cabe-nos a nós a obrigação e responsabilidade de analisar, com critério de crítica construtiva, qual a **valia em jogo para nossa condição, no momento em questão**. Ninguém vai defender os nossos interesses se nós próprios não o fazemos. Tudo evolue e muda, e só merece permanecer o que atenda à **lógica, ao acerto desejado de médias e dispersões estatísticas**, e ao desejo imperativo de que com o incremento de uso e tempo possa ser **progressivamente aprimorado**. Os dados iniciais com que determinada proposição é lançada são sempre muito restritos, e mesmo com algum provável viés.

Apenas a título de exemplos apresento uns casos, muito correntes.

1) Qual a lógica do emprêgo do Índice de Plasticidade  $I_p$  para correlações e coeficientes de ajuste de comportamentos de argilas in natura (intactas, indeformadas) ? Como estabelecer um elo entre o comportamento indeformado, e um índice de comportamento totalmente amolgado, olvidando o fato de que Sensibilidades  $S_t$  de argilas variam desde 1 (insensível) até praticamente várias centenas (as argilas Escandinavas, muito sensíveis, "quick clays") ? E, se houver alguma relação (fraca) entre Sensibilidade e "Plasticidade", porque buscar o mais grosseiro dos Índices,  $I_p$ , deduzido da diferença de dois índices modicamente grosseiros  $w_1$  e  $w_p$ , e, portanto, pela teoria dos erros, só sujeito a maiores questionamentos ? O uso do Limite de Liquidês  $w_L$  seria menos questionável, e não mudaria a tendência visto que o  $I_p$  e  $w_1$  mantém uma relação bem próxima à da linha A do gráfico de Plasticidade de Casagrande.

Ora, como, assim aceitar a presumida correlação, antiga, de Skempton,  $c \approx (0,11 + 0,0037 I_p) \sigma'_c$  pela qual quanto maior a plasticidade, e, presumidamente, menor o  $\phi'$ , tanto maior seria o  $\phi_{ap}$  que estabelece a relação  $c / \sigma'_c$  ? E, conforme já mencionei, como aceitar o coeficiente de ajuste proposto por Bjerrum para correção da resistência in situ do Vane Test, também relacionado ao  $I_p$  ?

(2) Cada vez mais se empregam correlações baseadas em RSA (OCR) nas argilas, bem reconhecendo a grande relevância que tem a pressão de pré-adensamento  $\sigma'_p$ . Possivelmente todos os geotécnicos terão observado com que frequência se transmite a **impressão de que o OCR seria um valor constante para um estrato**, e que existiria com muita frequência, junto ao topo, a **crosta ressecada**. Ora, geomorfologicamente causaria uma certa surpresa que só junto ao topo, isto é, em tempos recentes, poderia ocorrer o pequeno abaixamento do nível d'água gerando o ressecamento: e porque não seriam uns níveis pouco mais profundos, os "topos de épocas progressas de sedimentação" também suscetíveis de seus ressecamentos ? O fato adicional é puramente algébrico, devido à relação usada. Admitamos uma sobrecarga de pré-adensamento  $\Delta p$ . Ora, a relação  $OCR = (\gamma'_z + \Delta p) / \gamma'_z$  que inexoravelmente exclue a possibilidade de ser constante com a profundidade, será muito maior a pouca profundidade, quando  $\gamma'_z$  tende para zero. Para pesquisarmos um pré-adensamento teríamos que trabalhar com diferença  $(\gamma'_z + \Delta p) - (\gamma'_z)$  e não com a relação.

(3) Tem sido muito usado, nas apreciações dos comportamentos das areias, o índice da Compacidade Relativa (CR, Relative Density RD) baseado numa intuição muito natural, de adimensionalizar uma condição natural entre os limites "máximo e mínimo". Reporto-me apenas aos muitos trabalhos publicados (ex. Tavenas) mostrando que o índice está sujeito a muitas erraticidades : primeiro, porque na tentativa de "realmente" determinar o "máximo maximorum" e "mínimo minimorum" perdeu-se a vantagem simplificadora de procedimentos (arbitrários, padronizados) absolutamente bem fixados ; segundo, porque cada um dos tres valores está sujeito a erraticidades (de ensaio) além das

grandes erraticidades, de deposições na natureza (salvo em areias bem uniformes), e assim o índice resulta até mais errático, por cálculo. E, finalmente, qual a vantagem, quando o índice CR em nada reflete os parâmetros mais condicionantes de comportamentos por não considerar forma dos grãos, tendência à quebra ou não dos grãos etc. Não é mais proveitoso partir direto para os comportamentos consequentes, ângulo de atrito, deformabilidade, tendência à liquefação ou não, porosimetria, etc ?

(4) A definição do  $K'_0$  como presumida constante, e dada pela relação  $\sigma'_h/\sigma'_v$ , com fórmula dominantemente difundida de  $K'_0 \approx 1 - \tan \phi'$  já tem sido muito debatida e criticada, mas persiste de livro em livro. Como começo, temos que reconhecer que a relação tem que ser dada por  $\Delta\sigma'_h/\Delta\sigma'_v$ , na gama de variação de interesse. Como possível extensão poderá ocorrer a razoável constância do valor em gamas maiores de tensões. Na CRITICAL STATE SOIL MECHANICS desenvolveram-se equações menos questionáveis, por lógica, do que um relacionamento de um estado inicial de repouso como função do estado final de ruptura ( $\phi'$ ). Embora as computações de obras não tenham ainda começado a incorporar os estados de tensões residuais iniciais, o assunto se apresenta como muito importante perante as micro-deformações crescentemente condicionantes.

(5) Por último deixei o exemplo mais flagrante, ao qual se referiam os grandes mestres Taylor e Casagrande, já nos anos 1945 - 50. A lamentável predominância da indicação de valores de ( $c'$ ,  $\phi'$ ) e de ( $c$ ,  $\phi$ ) para qualquer solo genérico, sem a preocupação pela definição de: (1) qual a condição de "preparo-e-ruptura" considerada para o elemento de solo, e (2) qual a gama de tensões dentro da qual é adotada a simplificada reta. Deixei o caso por último porque é o absolutamente mais sério e frequente erro de displicência e/ou desconhecimento, do qual resulta, perante o mais grave dos problemas, a eventual ruptura, a supersimplificação transmitida para terceiros.

É falho e é grave, e constitui apenas um, o mais flagrante, dos meios que conduzem à anulação da Geotecnia consciente.

## 6. CONCLUSÕES RESUMIDAS.

Urge introduzirmos, seletivamente, mais ensaios e parâmetros, não nos prendendo apenas aos convencionais dos anos '50. A personalidade do solo, e seu comportamento, não pode ser adequadamente avaliada e definida mediante apenas uns dois a tres parâmetros rudimentares primários. Escolhamos com eficiência, e evitemos de voltar a percorrer a trilha batida e desgastada. Respeitemos as orientações acadêmicas, das quais nos fertilizamos com a riqueza do julgamento judicioso, das peculiaridades sempre desafiantes. Mas, de preferência, para cobrirmos com eficiência a distância que nos separa do Primeiro Mundo, concentremos nossas escolhas o tanto quanto possível nos ensaios diretos, nas interpretações diretas, e nas correlações diretas, desde que lógicas, tratadas estatisticamente, e transferíveis de protótipo a protótipo.

## 7 . BIBLIOGRAFIA MÍNIMA DE LEMBRETE DE OUTROS ENSAIOS.

- 1 - Dilatômetro Marchetti (DMT)
  - FINNO, R.J. (1993). "Analytical interpretation of dilatometer penetration through saturated cohesive soils." Geotechnique 43, 2, p.241-254.
  - TOTONI, MARCHETTI, CALABRESE, MONACO (1994). "Field studies of an instrumented full-scale pile driver in clay." XIII ICSMFE, vol.2, p.695-698, New Delhi.
- 2 - Hydraulic Fracturing
  - BJERRUM, NASH, KENNARD, GIBSON (1972). "Hydraulic fracturing in field permeability testing." Geotechnique 22, p.319-332
  - MURDOCH, L.D. (1993). "Hydraulic fracturing of soil during laboratory experiments". Geotechnique 43, vol.2, p.255-265, p.267-276

3 - CPTU

- ALMEIDA, DANZIGER, LUNNE (1996). "Use of the piezocone test to predict the axial capacity of driven and jacked piles in clay". Canadian Geot. Journal 33, vol.1, p. 23-41.

- SANDVEN,R.& WATN,A. (1995). "Soil classification and parameter evaluation from piezocone tests". Int. Symposium CPT'95, vol. 3, p.35-56, Sweden.

#### 4 - Vane Test

- KIRKPATRICK,W.M. & KHAN,A.J. (1984). "The influence of stress relief on the vane strenght of clays". Geotechnique 34, vol.3, p. 428-432.

#### 5 - Screw Plane Test.

- JANBU,N. & SENNESET,K. (1973). "Field compressometer - Principles and Applications", VIII ICSMFE, vol. 1.1, p. 191-198.

- SMITH,D.M.A. (1987). "Geotechnical Applications of the Screw-Plate Test", 8<sup>th</sup> PANAM CSMFE, vol.2, p.163-164, Cartagena.

#### 6 - Dynamic Probing Test - DPT

- MELZER & SMOLTCZYK (1982). State-of-the-Art, ESOPT II, vol. 1, p. 191-202, Amsterdam.

#### 7 - Swedish Weight Sounding Test - WST

- Broms & Bergdahl (1982). State-of-Art, ESOPT II, vol.1, p. 203-212, Amsterdam.

### 8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1- AOKI,N. & de MELLO,V.F.B. (1992). "Dynamic Loading Test Curves", Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. Application of Stress-Wave Theory to Piles, Balkema, pg.525-530, The Hague.

2- BEGEMAN,H.K.S.Ph. (1965). "The Friction Jacket Cone as an Aid in Determining the Soil Profile", 6th ICSMFE, vol.1, pg.17-20, Montreal. Discussões Prof. Victor F.B. de Mello, vol.3, pg.577-579.

3- BISHOP,A. et al (1965). "Undisturbed samples of London clay from the Ashford Common Shaft", Geotechnique 15, vol.1, pg.1.

4- BURLAND,J.B. (1990). "On the compressibility and shear strenght of natural clays", Geotechnique 40, vol.3, pg.329-378.

5- GENS,A. and POTTS,D.M. (1988). "Critical state models in computational geomechanics", Eng. Comput. vol.5, Sept., Pineridge Press Ltda, pg.178-197.

6- HANDY,R.L. (1986). "Borehole shear test and slope stability",ASCE, Proc. In Situ'86, pg.161-175, Blacksburg.

7- JUANG,C.H. & HOLTZ,R.D. (1986). "Fabric, Pore size distribution, and permeability of sandy soils", ASCE 112, GT 9, pg.855-868.

8- LEROUEIL,S. (1997). "Critical State Soil Mechanics and the Behavior of Real Soils", Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, Almeida (ed.), COPPE-UFRJ Symposium Proceedings Rio de Janeiro, Jun., Balkema, pg.41-80.

9- LUTENEGGER,A.J. & TIMIAN,D.A. (1986). "In situ tests with K<sub>o</sub> Stepped Blade", ASCE, Geot.Spec.Publ. n.6, Use of in situ tests in Geotechnical Engineering, pg.730-751.

10- de MELLO,L.G.F.S. e CEPOLLINA,M. (1978). "Sobre a interpretação de prova de carga sobre placa visando previsão de recalques", 2º COBRAMSEF, ABMS, vol.1, pg.165-180, Rio de Janeiro.

11- de MELLO,V.F.B. (1969). "Foundations of Buildings in Clay", State-of-the-Art, VII ICSMFE, STATE-OF-THE-ART vol., pg.49-136, Mexico.

12- de MELLO,V.F.B. (1971). "State-of-the-Art - The Penetration Test", IV PANAMCSMFE, vol.I, pg.1-86, Puerto Rico.

13- RIDLEY,A.M. & BURLAND,J.B. (1993). "A new instrument for the measurement of soil moisture suction", Geotechnique 43, vol.2, pg.321.

14- ROBERTSON, CAMPANELLA, GILLESPIE, RICE (1968). "Seismic CPT to measure in situ shear wave velocity", ASCE 112, GT 8, ang. pg.791-803.

15- SILVA,P.E.C.A.F. (1986). "Célula expansiva hidrodinâmica - Uma nova maneira de executar provas de carga", Anais 8º COBRAMSEF, ABMS, vol.VI, pg.223-241, Porto Alegre.

16- SKEMPTON, A.W. (1986). "Standard penetration test procedures and the effects of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation", *Geotechnique* 36, vol.3, pg.425-447.

17- SKEMPTON, A.W. & SOWA, V.A. (1963). "The behavior of Saturated Clays

during sampling and testing", *Geotechnique* 15, vol.1, pg.1.

18- WHITTLE, A.J. (1993). "Evaluation of a constitutive model for over-consolidated clays", *Geotechnique* 43, vol.2, pg. 289-313.