

DIRECTRIZES PARA OS ESTUDOS GEOLÓGICO - GEOTÉCNICOS PARA BARRAGENS

Prof. Victor F. B. de Melo — São Paulo — Brasil

1. Dados, Cálculos e Decisões na Engenharia Civil

Parece-nos necessário conceituar primeiramente qual é a posição do engenheiro civil perante determinado projecto ou obra; é apropriado fazê-lo de começo por comparação com as tarefas postas durante o curso de engenharia, tanto porque todos passamos pela experiência de uma descontinuidade entre o treino a que nos submetem as escolas e as principais exigências da vida profissional para a qual nos consideramos "formados", como porque, espero que este trabalho atinja principalmente a grande percentagem de jovens engenheiros que trabalham no sector civil hidroeléctrico.

Perante todo o problema posto no ensino da engenharia o jovem engenheiro aceita como implícita a existência de dados (numéricos), de uma questão ou problema específico formulado, de cálculos específicos e relativamente precisos, e consequentemente de resultados, também numéricos, como solução ou conclusão. Assim, posto perante o problema de um projecto ou obra, o jovem engenheiro começa por exigir os dados numéricos que lhe permitam desempenhar as rotinas de cálculos e soluções.

Na realidade, a Engenharia (Civil) compreende um acto de decisão face a incertezas, e não um acto de certeza "À priori" sabemos que perante determinado comportamento ou problema "todos" os parâmetros imagináveis interferem de alguma forma mas a tarefa do engenheiro é de excluir de consideração em cada etapa todos aqueles parâmetros que, em determinado nível de precisão das decisões, não influem significativamente. Note-se que predominam nas publicações técnicas que constituem a fonte mais actualizada de informações para o engenheiro, as conceituações do cientista, que de trabalho em trabalho informa sobre "mais um" parâmetro que interfere em determinado comportamento. Tal actividade tem que ser reconhecida como complementar à do engenheiro, por progredir em sentido diametricamente contrário no tocante à orientação.

Frequentemente vejo exigir-se determinado programa de sondagens e ensaios, etc..., como tarefa prévia, a fornecer "os primeiros dados mínimos". Então, não haveria "dados anteriores"? E não haveria condições para se "projectar" uma barragem sem aquele "mínimo" de dados? Absolutamente miope é tal interpretação da tarefa e do desempenho do engenheiro! Na realidade existe, por assim dizer, o projecto de barragens de uma hora, tanto quanto existem, para a mesma barragem, os projectos de 1.000, de 10.000 e de 100.000 homens-hora de tempo dispendido em fases sucessivas de aprimoramento. O problema é que a barragem cujo projecto dispendeu uma hora seria muito cara, não só porque o engenheiro consciente a vi-

sualizaria tão segura quanto possível, admitindo em cada parcela a condição mais desfavorável, mas também porque, a despeito de todas estas precauções, o risco de ruína ainda seria relativamente grande.

Tal risco ou probabilidade de ruína é modernamente tratado por teorias matemáticas de probabilidade e da teoria de decisão para o equacionamento de um valor económico e para a escolha de coeficientes de segurança.

Portanto, ao progredir da barragem de uma hora, para a barragem de 1.000 horas, provavelmente o custo adicional de projecto será pequeno em comparação com o barateamento da obra, tanto de "per si" como em seu risco de ruína. Assim estará obviamente justificada a extensão das actividades de projecto para as 1.000 horas, e assim por diante, até que se passe a incidir em condição inaceitável de "diminishing returns", por exagerar em extrair menor e menor valia adicional, de incrementos de esforços gradativamente maiores.

Resumindo, portanto, o exercício da actividade de engenharia, de decisão face a incertezas inescapáveis, pressupõe o reexame obrigatório, essencialmente contínuo, de cada dado novo e de sua valia. Evidentemente, porém na prática tal continuum é substituído por incrementos descontínuos, pois conceitos e decisões só seriam reformulados descontinuamente quando um determinado novo conjunto de dados obrigasse a alterar significativamente o modo de se encarar determinada faceta do problema.

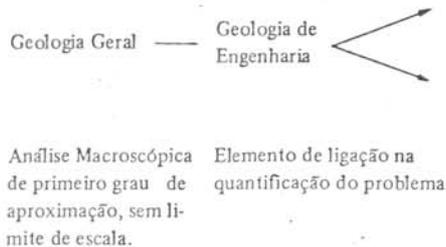
2. Interveniência e interrelação de Geologia, Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas

São duas fontes básicas de raciocínio perante os condicionamentos geológico-geotécnicos em obras civis: a "geometria" que, ditada por teorização em torno de materiais ideais homogêneos, se aplica por condições de semelhança geométrica, em qualquer local, independentemente de peculiaridades geológicas; e a "geológica" que particulariza o problema de forma diferente e importante para cada local, tendo em conta justamente as singularidades e descontinuidades geológicas que, conforme bem demonstra toda a experiência de obras de represamento, constituem o principal condicionamento do bom projecto. Entre os dois raciocínios é evidente que deve prevalecer, em todas as etapas de desenvolvimento dos trabalhos, apenas o geológico, pois que todas as investigações são orientadas em busca do descontínuo geológico. Por exemplo, o desejo de investigar o subsolo sob o eixo de uma barragem de terra decorre de uma conceituação geométrica e do facto de que a sollicitação é máxima sob a crista; porém, por uma conceituação geométrica correctamente aplicada dispensa-se realmente a execução das sondagens exactamente

sob a crista, pois quaisquer condições menos favoráveis detectadas em outros pontos devem ser admitidas como transferíveis para sob a crista, uma vez que quando se raciocinar sob a hipótese do subsolo homogêneo se exige, por princípio fundamental de segurança, que a "homogeneização" seja nas condições menos favoráveis.

Devemos reconhecer que lamentavelmente a maior percentagem de obras emprega predominantemente ou quase exclusivamente o raciocínio geométrico. A situação deve-se ao facto de que a origem da fase moderna de quantificação de problemas do subsolo esteve associada principalmente a problemas de fundações de edifícios, em lotes pequenos em que o critério geológico minguava ao ponto de irrelevância e, passam a predominar critérios geométrico-estatísticos de "bem cobrir a área carregada". A Mecânica dos Solos abandonou a Geologia Clássica para se quantificar: porém, agora que a quantificação da Geologia também já está em curso, é necessário que a Geotecnia retorne à Geologia como fonte mais significativa de raciocínios.

Neste particular cabem alguns comentários sobre a interrelação entre campos afins, de Geologia, Geologia Aplicada à Engenharia Civil, Mecânica dos Solos, Mecânica das Rochas, e a própria Engenharia Civil. A geologia era classicamente hermética, académica como todas as Ciências Naturais originadas no século passado e alheia ou mesmo aversa à quantificação. Para sanar as duas primeiras críticas originou-se a "Engineering Geology" ou a Geologia de Engenharia. Porém, tanto a Geologia como a Engenharia Civil são campos profissionais de "síntese": no que diz respeito a problemas geológico-geotécnicos os únicos elos que unem com possibilidade de fruição significativa são os campos "analíticos" da Mecânica dos Solos, e, mais recentemente reconhecido e desenvolvido, o de Mecânica das Rochas. Pela conceituação científica-tecnológica, não pode ser proveitosa a alimentação directa de "síntese" para "síntese" sem passar por análise-síntese. Portanto, o fluxo tem que ser da Geologia para os campos componentes, analíticos, da Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas e, por outro lado, no que diz respeito a problemas geológico-geotécnicos, o outro extremo do fluxo será entre Engenharia Civil e os campos componentes da Mecânica das Rochas e Mecânica dos Solos.



Reconhecemos portanto que, como ponto de partida, precisamos de uma boa Geologia, desenvolvida obrigatória e livremente com base em todos os seus recursos próprios (ex: Aerofotogeologia, geofísica, etc...). O facto de se exi-

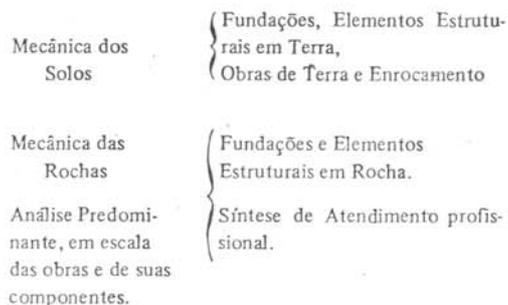
gir uma quantificação aproximada das afirmações anteriormente aceitáveis em nível adjectivado não constitui abertura de novo campo profissional, distinguindo a Geologia de Engenharia da Geologia pura, visto que modernamente todos os campos profissionais se quantificam.

Evidentemente admite-se que na Geologia de Engenharia só interessarão das teorias e conclusões a que chega ao Geólogo, as que tem utilidade para o Engenheiro Civil. Mas devemos ressaltar que não se pode antecipadamente aplicar limitações ao que se suponha merecer interesse do Engenheiro Civil, visto que isto significa cercear o engenheiro no exercício de suas atribuições e obrigações descritas como a "aplicação engenhosa de Física mais bom-senso". O "interesse" do engenheiro é variável e dinâmico, depende do próprio engenheiro e do seu nível de engenhosidade, e portanto é indispensável que o geólogo peque por excesso, pondo à disposição do engenheiro tudo do que dispõe, deixando assim que o próprio engenheiro escolha o que poderá ser do seu interesse em dada obra e situação.

3. Dados básicos necessários a projectos e cálculos

Como princípio básico de raciocínio já se frisou que "todos" os dados imagináveis são necessários e úteis até que (mentalmente) se prove o contrário. Assim, toda e qualquer norma ou rotina que estabeleça requisitos padronizados peca "à priori" por cercear o engenheiro na sua missão conceitualmente primordial, que é a de exercer "engenhosidade" utilizando com proveito e criatividade, em determinada circunstância, aquilo que a outros não tenha ocorrido usar em rotina.

Em resumo, evidentemente são necessários os conhecimentos do que chamaremos de Elementos de Posição à geografia física, conhecimentos quanto à disponibilidade de equipamentos (em prazos e custos) assim como de mão de obra, materiais e produtos fabricados e indicações quanto a restrições de ordem pública, legal e administrativa. Projectos foram elaborados e continuarão a sê-lo, em algum grau de aceitabilidade, sem ter em conta tais problemas; os melhores projectos, todavia, prevalecerão gradativamente por tê-los levado em conta, na medida em que



este esforço adicional de engenharia de projecto se comprovar rentável. De qualquer forma, são já reconhecidos como intervenientes em primeiro grau de aproximação os dados referentes aos Elementos de Posição que se subdi-

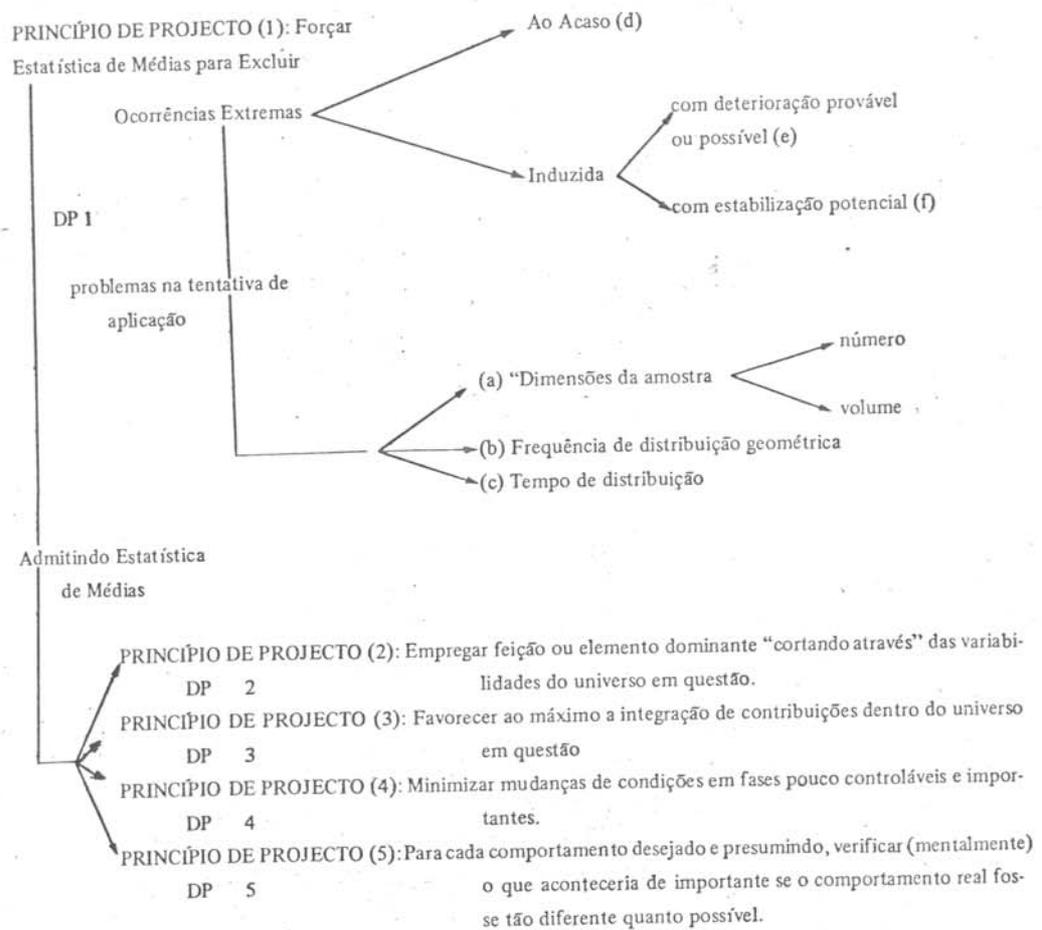
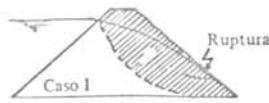
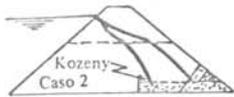


Fig. 1 – Recomendações quanto aos princípios de projecto.



OBSERVAÇÃO
RUPTURAS REPETIDAS
SAÍDA A (EXTREMA)
MASSA B (MÉDIA)

CONCLUSÃO MÉDIA
1) FAVORECER TALUDE DE JUSANTE... APERFEIÇOAMENTO LIMITADO
2) PÉ E TAPETE DRENANTE DO CASO 2



RUPTURAS POUCO FREQUENTES
SAÍDA A (EXTREMA)

RUPTURAS AINDA CENSURÁVEIS EM CONDIÇÕES NÃO USUAIS. COMPARÁVEL CONCEITUALMENTE AO PROJECTO DO VERTEDOR PARA ENCHENTE MÉDIA

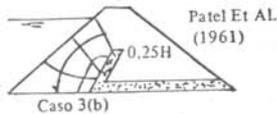
(a) Aperfeiçoamento histórico-conceitual do controle de pressões neutras



Caso 3 (a)

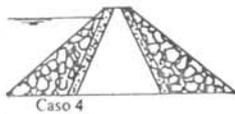
OPTIMIZAÇÃO PARA TALUDE DE MONTANTE SOB REBAIXAMENTO RÁPIDO, DE MUITO MENOR IMPORTÂNCIA

CONCEITUALMENTE INACEITÁVEL AO ACRÉSCIMO DE RISCOS A JUSANTE COMPARADO AO CASO 2



Caso 3(b)

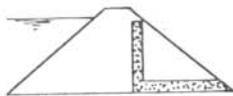
(b) Superconfiança em rede de fluxo e atenção desproporcionada à estabilidade de montante



Caso 4

SECÇÃO FUNCIONAL DE TERRA-ENROCAMENTO QUE SATISFAZ DP 1 AUTOMATICAMENTE, CONCEBIDA SOB SIMETRIA ERRÔNEA. INSUCESSOS DE SEGUNDA ORDEM

VÁLIDO PARA OPTIMIZAÇÃO SEGUNDO DP 2, 3, 4, 5.



Caso 5

FILTRO VERTICAL (DP 1) CONCEBIDO PARA CONTRÓLO SIMULTÂNEO DE U_{max} PERÍODO CONSTRUTIVO E REDE DE FLUXO

REQUER OPTIMIZAÇÃO EVITANDO ELEMENTO VERTICAL E SIMETRIA APROXIMADA COMO NO CASO 4.

(c) Bases aceitáveis para otimização

Apenas os casos 4 e 5 são válidos. REQUEREM OPTIMIZAÇÃO, INCLUINDO HIPÓTESES DE FUNDAÇÃO (PRINCIPALMENTE NAS CONDIÇÕES DE PERCOLAÇÃO)

Fig. 2 Discussão conceitual da evolução do projecto para controle de pressões neutras

"DADOS" incluem o ciclo fechado de "EXPERIÊNCIA"
 Plano de fundo GEOLÓGICO indispensável (HIDROGEOLÓGICO)

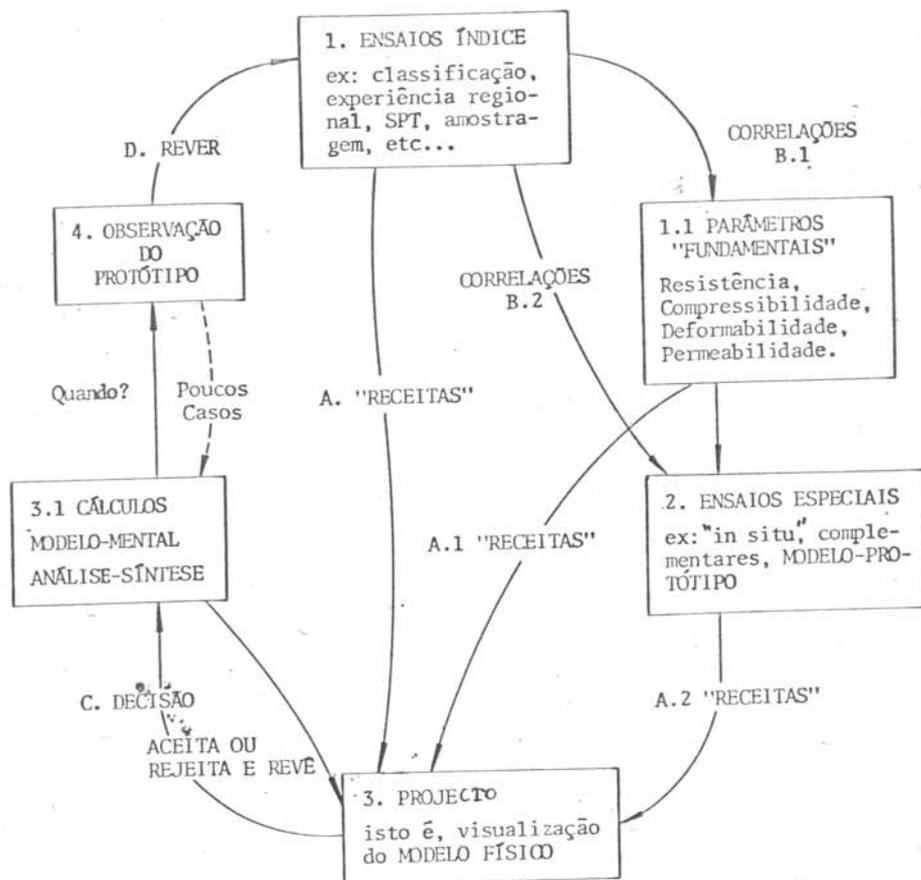


Fig. 3

videm racionalmente em Atmosféricos (meteorologia, hidrologia, etc...), de Superfície (topografia), e de Subsuperfície (geologia, hidrologia, geotecnia, sismicidade, etc...). No tocante aos parâmetros atmosféricos, por exemplo, interessam as direcções de ventos preferenciais, e o spectrum de velocidades e de tempos de duração de ventos fortes ou máximos, assim como condições normais afectando evaporações para solos argilosos.

No tocante à definição da Superfície em relação à qual se processa a implantação de qualquer obra, nada de especial há a comentar; aspectos geológicos e geohidrológicos estão directamente reflectidos na topografia: em zona de floresta, a anotação do porte e da densidade das árvores indicaria algo sobre as profundidades e densidades de raízes; em taludes de encosta, a anotação das inclinações das árvores serve de indício quanto a movimentos de escorregamento e/ou de rastejo; junto ao pé dos taludes, a observação de nascentes ou de vegetação mais viçosa, serve de indicação quanto à proximidade do lençol freático.

Finalmente, a respeito dos parâmetros de Subsuperfície nos quais se concentra a atenção do presente trabalho, evidentemente não há dado que possa "à priori" ser admitido dispensável, visto que por um lado é necessário bem definir o "continuum" (condições representativas do maciço, eventualmente "homogéneo", médio) mas também, por prudência, vaculhar os "descontínuos" eventuais. Conceitualmente frisa-se pois, que não há limitação quanto ao que possa ter interesse, a limitação é apenas de como apresentar tais factos, pois que a mente humana constitui a verdadeira limitação, incapaz de absorver e dar sentido a maior número de factos. Outra limitação de ordem prática, já mencionada, é a da validez do esforço de colheita e incorporação do dado adicional, em comparação com a aplicabilidade económica respectiva.

4. Sequência de estudos geológico-geotécnicos da fundação da barragem

Conforme acima exposto, admite-se que antes de se iniciar as investigações geológico-geotécnicas da fundação da barragem, já se dispõe de resultados da geologia local. Admitida portanto a existência do conhecimento da Geologia em seus níveis de precisão, todos os trabalhos subsequentes passam a ser subordinados aos campos da Mecânica das Rochas e da Mecânica dos Solos.

Nos trabalhos conduzidos dentro destas especializações a qualidade dos serviços, principal condicionante da segurança e economia, depende muito de atitudes das pessoas dedicadas às actividades: os que não trabalham no campo respectivo procuram o mais rapidamente possível estabelecer rotinas de requisitos, métodos e interpretações e promulgar as normas e padrões respectivos. Enquanto isso, os que realmente trabalham no campo e se alimentam da dinamicíssima fonte de desenvolvimento provida pelas publicações técnicas especializadas do campo específico em apreço (Congressos Internacionais, revistas especializadas internacionais, etc...) põem à prova novas ideias e técnicas, sem prejuízo da obtenção dos dados de acordo

com métodos já experimentados, reconhecendo que cada caso é sempre distinto, exigindo um equilíbrio criterioso e fluido entre a aplicação de processos anteriores e a introdução de avanços e aprimoramentos.

4.1 Sondagens

O primeiro passo na investigação geológico-geotécnica das fundações de qualquer barragem é a sondagem incorporando processos de Sondagens de Reconhecimento (com cravação de amostrador padronizado de parede grossa e registo do índice respectivo da Resistência à Penetração) no(s) trecho(s) com perfuração rotativa e execução de ensaios de perda d'água rotineiras, no(s) trecho(s) não perfurável(is) a percussão e não recuperável(is) na amostragem percussiva.

Para o trecho terroso, empregar perfuração a trado (sem lavagem) até encontrar o nível d'água N.A., passando à perfuração por circulação de água (lavagem) abaixo desse nível. Em casos especiais, criteriosamente admitidos e rigorosamente registados poderão ser toleradas modificações e/ou atenuações de tais exigências. A partir de onde o revestimento se faz necessário para evitar o fechamento do furo, o revestimento deve ser cravado acompanhando de perto o aprofundamento do furo para as amostragens sucessivas: a cada cota de amostragem, com registo de Resistência à Penetração, convém marcar em coluna adicional junto ao perfil da sondagem, a profundidade em metros em que estava estacionado o revestimento. Note-se que, também na mesma coluna, convirá registar (o que poderá ser feito sem qualquer dificuldade, esforço ou custo adicional) o número de golpes de energia padronizada necessários à penetração do revestimento, de uma profundidade até a próxima, e assim sucessivamente. O revestimento rotineiramente empregado é o de 2 1/2 a 3 polegadas de diâmetro, e deve assim ser mantido para evitar a intervenção dos efeitos do diâmetro do furo sobre os valores do índice da Resistência à Penetração: qualquer mudança, sempre admissível por motivos bem justificados, deve ser consignada.

Também deve ser consignado se a perfuração empregou lamas (bentoníticas, etc...) de estabilização do furo ao invés de revestimento, pois que os índices da Resistência à Penetração e as observações quanto ao lençol freático sofrem alterações significativas.

Para o registo das condições de compacidade ou de consistência em que se encontram os solos é importante padronizar com o emprego do Standard Penetration Test (SPT). Convém frisar que o SPT só pode ser correlacionado directamente com a resistência in situ do solo, e todas as demais correlações eventuais passam a ser indirectas, exigindo interpretações criteriosas complementares.

(Continua no próximo número)

DIRECTRIZES PARA OS ESTUDOS GEOLÓGICO - GEOTÉCNICOS PARA BARRAGENS

Prof. Victor F. B. de Melo - São Paulo - Brasil

(Continuação da Revista nº 4)

5

4.2. Poços de Exploração e de colheita de amostras indeformadas em bloco

Constituem o melhor elemento de inspecção geológico-geotécnica e de extracção de amostras indeformadas para ensaios que se destinam ao aprimoramento de decisões quanto a problemas de fundações: cabe aqui apenas resumir as principais recomendações com relação a armação ampla e valiosa de investigação.

Cabe esclarecer que, independentemente do zelo e do pomposo com que se pretenda transmitir por escrito tais recomendações, na prática tal tarefa resultará sempre incompleta perante as necessidades reais que abrangem por um lado a duplicidade de campos de apoio, o geológico e geotécnico, e, por outro lado, a capacidade de aquilatar, por "experiência", a que ponto determinados parâmetros visualizáveis de comportamento geotécnico são consequentes perante os conceitos do projecto e as realidades construtivas das obras de arte em jogo em cada caso. Em resumo, a Geologia é indispensável como pano de fundo para toda a inspecção de campo; a Geotecnia servirá de elo indispensável intermediário para suprir as ferramentas de quantificação (tanto no campo como no laboratório) de parâmetros de análise e de síntese; finalmente a obra Civil, predominantemente estrutural nos muitos casos, constitui a meta fundamental de todo esforço geológico-geotécnico a prever.

Um princípio importante a observar em serviços de campo é, portanto, que em caso de dúvida a colheita e o registo de dados de observação deve sempre pecar por excesso. É sempre fácil em etapas posteriores, de escritório, excluir por triagem o que pareça ou resulte desnecessário dentre os dados colhidos; em contraposição nunca se pode voltar os ponteiros do relógio para trás para buscar dados que não foram colhidos em tempo hábil.

4.2.1 Observações de campo prévias à colheita de amostras

a) Durante a descida da escavação, observação visual.

Proceder primeiro à observação visual para registo da disposição de horizontes, veios preferenciais, etc...

Forte apoio em coloração; a superfície precisa ser recém exposta para salientar colorações.

Colheita de informações de natureza geológica; classificação visual-táctil, particularmente sob o ponto de vista geológico-mineralógico, com descrição dos grãos predominantes na condição *in situ* (não manipulada), e com observação completa de rumos, mergulhos, etc... É muito significativa a "aparência" *in situ* quanto a "graus de saturação" e quanto ao provável comportamento tensão-deformação distinguindo entre o "friável" e o "plástico"

b) Ainda durante a descida da escavação, classificação correspondente aos ensaios de caracterização da Mecânica dos solos. É indispensável complementar as indicações de carácter predominante referentes à origem geológica, resumidos no item a), com a classificação do solo como material remoldado, tal como reflectido nos ensaios de granulometria e de Limites de Atterberg.

c) Ainda durante a descida da escavação, observações referentes ao lençol d'água. Para o técnico experiente é possível registar por estimativa de primeiro grau de aproximação, o nível em que ocorre acima do lençol d'água, o topo da zona de saturação. A cota de ocorrência do próprio lençol freático deve ser registada com cuidado.

Finalmente no prosseguimento da escavação do poço abaixo do lençol deve ser registada aproximadamente a vazão de esgotamento a duas ou três profundidades diferentes, de modo a se poder estimar a permeabilidade média do solo circundante. Ademais, visto que as percolações são frequentemente localizadas e preferenciais, particularmente em horizontes residuais, tais ocorrências devem ser registadas de forma descritiva semi-quantitativa.

d) Durante a descida da escavação, observações síntese. Reconheça-se fundamentalmente que as observações mencionadas nos itens a), b) e c), constituem meramente a busca de "meios para um fim", e que o fim precípuo da inspecção do poço é, em ordem de prioridades:

d1) estimativa do comportamento da massa do solo "in situ" perante problemas de ruptura, de deformabilidade e de permeabilidade;

d2) a selecção criteriosa de posições, tanto representativas como extremas eventuais para o lado da segurança, visando a colheita de amostras de tipo informado a serem empregadas para ensaios de laboratório destinados a confirmar, revelar e/ou aprimorar as decisões de d1);

d3) ainda durante a inspecção que acompanha a descida do poço, o técnico deve assinalar, de horizonte, o seu melhor parecer sobre os parâmetros fundamentais de comportamento. Resumindo a seguir as indicações do que me pareceria mais significativo perante problemas de ruptura:

d3.1) Resultado provável de ensaios de Compressão Simples, R_c kg/cm², "in situ" e após remoldagem na humidade natural.

d3.2) Prováveis equações Mohr-Coulomb, $s = c + tg\phi$ para ensaios Rápidos, Adensados-Rápidos e Lentos.

d3.3) Estimativa do σ_{rupt} que resultaria em prova de carga sobre placa de 0,8 m de diâmetro.

d4) Perante problemas de deformabilidades, compressibilidades:

d4.1) Estimativa do σ_{ad} que resultaria em prova de

carga sobre placa de 0,8 m de diâmetro.

d4.2) Estimativa do coeficiente de reacção do solo, ("subgrade coefficient", $ks\ t/m^2$ por cm de recalque) para a prova de carga visualizada em d3.3 e d4.1 supra.

d4.3) Estimativa da pressão de pré-adensamento do solo em ensaio edométrico.

d4.4) Estimativa do índice de compressão do solo em ensaio edométrico.

d5) perante problemas de permeabilidade: estimativas do coeficiente de permeabilidade média da massa do solo, e indicações sobre permeabilidades e fluxos preferenciais.

4.2.2 Amostras indeformadas em bloco

De acordo com as caracterizações dos horizontes e a visualização dos problemas e parâmetros geotécnicos de comportamento a conferir e/ou aprimorar, serão extraídas amostras indeformadas em bloco. Conforme já foi mencionado são dois os raciocínios básicos de escolha de posições para a extração dos blocos: blocos representativos do comportamento médio da massa ou do horizonte, e blocos que permitem caracterizar o comportamento de singularidades desfavoráveis (ex. planos de fraqueza dispostos em mergulho desfavorável, etc...).

Os blocos costumam ser de 25x25x25 cm a 30x30x30 cm de dimensão, para permitir conveniência de manuseio. Na medida em que ocorram dentro de tais dimensões singularidades que sugiram o emprego, no laboratório, de corpos de prova talhados de maiores dimensões, convirá aumentar as dimensões do bloco dentro de limites de praticabilidade. A única solução adicional quando se excedem tais dimensões, é a de se recorrer a ensaios de campo *in situ*, sobre volumes terrosos de dimensões representativas.

4.3 Trincheiras

O que os poços de exploração significam para a investigação no sentido vertical, as trincheiras rasas de exploração representam, em interesse mesmo redobrado, para a investigação no sentido horizontal. O maior interesse deve-se ao facto que em geral o horizonte superior abrange uma maior concentração de problemas para as decisões de projecto. Muito frequentemente tais decisões têm sido relegadas à fase de obra, postergando assim um problema cujas proporções geralmente se agravam em fase de obra.

Repetem-se com relação às trincheiras todas as indicações acima resumidas para o caso de poços, cabendo salientar o interesse especial pela observação da continuidade da qualidade do horizonte (p. ex. com relação à permeabilidade) no sentido montante-jusante.

Finalmente cabe salientar que as trincheiras se prestam muito favoravelmente à execução de ensaios de permeabilidade "in situ" pois que existe um bom número de soluções matemáticas (com formulários e ábacos apropriados) para os casos de perdas por infiltrações em canais, e algumas de tais soluções mais correntes e comprovadas são muito convenientemente adaptáveis à realização de ensaios de permeabilidade "in situ" em cavas rectangulares.

4.4 Galerias

Dependendo da importância da obra cabe salientar a necessidade de se abrirem galerias de observação e de ensaios, preenchendo assim a lacuna de um instrumento potente de exploração como elo entre o poço e a trincheira.

4.5 Sondagens especiais

Em fase mais adiantada e meticulosa de investigação, de acordo com o problema em foco e com as justificativas técnicas e económicas dos esforços adicionais previsíveis, sugerem-se duas linhas de ataque: uma, a de amostragem mais especializada item (4.5) e outra, a de ensaios especiais "in situ" (item 4.6).

4.5.1 Amostrador indeformado contínuo Sueco (Swedish Soil Sampler)

Desenvolvido com interesse especial na extração de amostras indeformadas contínuas muito longas, para verificação de descontinuidades subhorizontais.

4.5.2 Amostras indeformadas de 4 a 6 polegadas de diâmetro

Na amostragem indeformada de melhor qualidade, o requisito permanente de 100% de recuperação é continuamente garantido pelo emprego de amostrador de pistão fixo. Entre estes o que mais se recomenda em argilas pouco consistentes muito sensíveis é o Amostrador Osterberg, de pistão fixo e de cravação estática por pressão hidráulica.

Em caso análogo de materiais terrosos diversos, mais duros e resistentes à penetração estática, tais como solos residuais, argilas duras e mesmo solos arenosos com um mínimo de coesão aparente, a amostragem de tipo indeformado emprega preferivelmente a perfuração rotativa muito cuidadosa com barrilete duplo (tipo Denison ou Denver, ou Pitcher) ou mesmo triplo.

4.5.3 Amostragem Integral

No caso de materiais predominantemente rochosos, porém contendo descontinuidades muito decompostas e fracas ou mesmo fraturas abertas, reconhece-se que qualquer amostragem rotativa que resulte em menos do que 100% de recuperação de testemunho tem pouco interesse técnico, visto que as descontinuidades e fracturações, cuja condição realmente determina todo o problema de fundação, constituem justamente os trechos faltantes da recuperação.

4.6 Ensaios especiais in situ

De acordo com as necessidades de definição de determinados parâmetros de comportamento em maior grau de precisão, recorre-se a ensaios especiais "in situ" entre os quais os mais correntes, desenvolvidos e comprovados, são os seguintes:

4.6.1 Ensaio de palheta (Vane Test)

É o ensaio mais recomendado para a determinação da resistência "in situ" (indeformada e amolgada) de argilas

muito moles a médias. O princípio é muito simples, mas na prática é indispensável respeitar diversos pormenores de aparelhagem, de técnica e de interpretação para garantir bons resultados.

4.6.2 Ensaios de penetração estática de cone (EPEC, "deep-sounding")

Este ensaio (Cone Holandês) tem se provado tão útil que modernamente passa a ser empregado sistematicamente como complemento do SPT, sendo melhor do que este para indicações de resistência uma vez conhecidos os tipos de solo nos terrenos em investigação.

4.6.3 Pressímetro

O método emprega como princípio básico a medida de deformabilidade de um trecho do furo de sondagem, submetendo-o a pressões internas simulando o comportamento de expansões elastoplásticas de cavidades cilíndricas ou esféricas num maciço infinito.

São utilizados basicamente dois tipos de pressímetro: o Menard, que é instalado num pré-furo e, mais modernamente, o "Auto-Perfurante" (LPC), que dispensa o pré-furo.

4.6.4 Ensaios de permeabilidade "in situ" (inclusive o tipo Le Franc e outros executados na propria sondagem)

Inegavelmente os problemas de permeabilidade transparecem como fundamentais nas investigações das fundações de uma barragem. Pode-se afirmar porém, que neste assunto ocorrem as mais frequentes e maiores falhas de conceituação, de técnica de execução e de interpretação.

Quanto às necessidades do Projecto temos que reconhecer que a rede de percolação usada para todas as decisões de primeira instância do projecto (pressões hidrodinâmicas, vazões, gradientes hidráulicos, subpressões, etc...), depende principalmente de relações de permeabilidade entre as principais camadas; as vazões (frequentemente de muito pouco interesse entre nós por comparação com a fluviometria e as evaporações) de perda d'água dependem de um valor médio ponderal das permeabilidades; e os maiores problemas de segurança perante carregamentos dependem principalmente de permeabilidades preferenciais ao longo da descontinuidade.

4.6.5 Testemunhos de rocha em sondagem rotativa

Inúmeras são as sugestões de como apresentar os resultados de sondagens rotativas em rocha a fim de indicar a qualidade da rocha e do maciço rochoso. Segundo a minha experiência, nenhuma das classificações atende, nem melhora muito, a possibilidade de estimar parâmetros fundamentais de resistência, deformabilidade e tensões internas.

Recomendo como melhor forma de transmissão da informação a fotografia colorida das caixas de testemunhos em escala não inferior a 1 cm = 35 cm. As profundidades de cada manobra deverão estar bem legivelmente indicadas, e a fotografia deve ser tirada o mais rápido possível

antes que ocorram alterações e deteriorações.

4.6.6 Ensaios de perda d'água específica em rochas

Durante a perfuração rotativa em materiais rochosos é necessário executar ensaios de perda d'água sob pressão. Dentro de uma programação de rotina é corrente fazer o ensaio a cada manobra (cerca de 3 m), em ciclo ascendente-descendente de cinco ensaios sob pressões diferentes para avaliar a influência da pressão sobre o coeficiente de perda d'água, e um mínimo de cinco leituras sucessivas de 5 em 5 minutos sob cada pressão de ensaio para alcançar a constância de vazões.

4.6.7 Ensaios dilatométricos em sondagens rotativas

Para a caracterização da deformabilidade de rochas de fundação sugere-se o emprego de ensaios dilatométricos em sondagens rotativas especiais. O assunto passa a merecer atenção maior à medida que o porte das obras tem aumentado, e a qualidade das rochas de apoio leva a suspeitar de módulos de elasticidade menores, por exemplo $E < 50.00 \text{ kg/cm}^2$, ou também de horizontes fortemente diferenciados em E podendo levar a redistribuições significativas de tensões e deformações. Os métodos de análise permitem levar em conta tais aspectos (por exemplo, através de cálculos por elementos finitos, ou por ensaios em modelo).

4.6.8 Módulo de elasticidade pelo macaco plano em fenda aberta no maciço

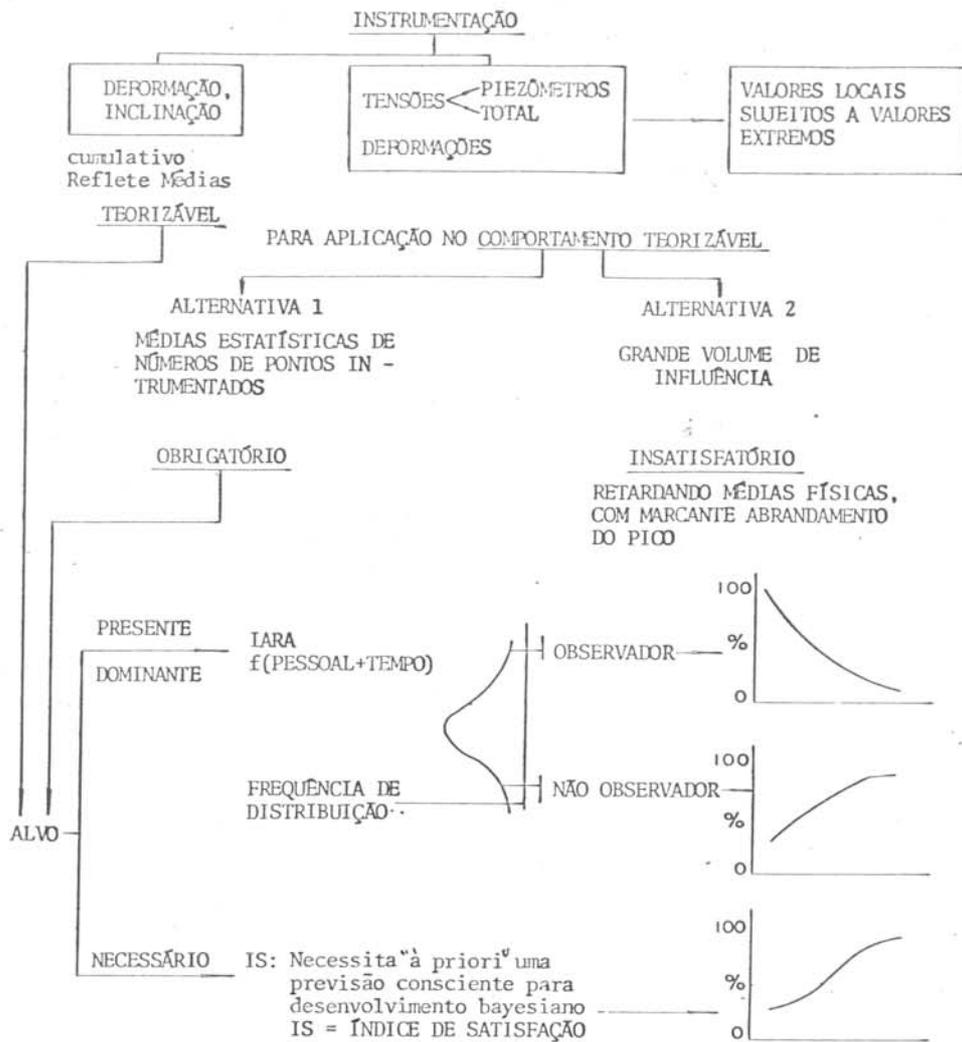
Por motivo de objecções óbvias quanto à determinação do E pelos tradicionais ensaios de prova de carga sobre placa ou sobre a superfície de túneis, que ensaiam predominantemente os volumes de rocha adversamente afectados pela escavação, actualmente recomenda-se empregar, como complemento aos ensaios dilatométricos de profundidade, os ensaios de módulo de elasticidade pelo método dos macacos planos.

Em tais assuntos, ainda em investigação e formulação, exige-se sempre que se empregue mais do que um método independente de ensaio, não só para conferir resultados, mas também para melhor apreciar a natureza da rocha através da própria grandeza das diferenças entre métodos de ensaio.

4.6.9 Ensaios de cisalhamento "in situ" em rochas fracturadas

Em fundações de barragens de betão, quando ocorrem juntas subhorizontais que possam comprometer a estabilidade perante o cisalhamento, cabe realizar ensaios de cisalhamento directo para investigar os parâmetros de resistência a atribuir à junta.

O interesse em ensaiar determinada junta depende fortemente do projecto, pois que muito frequentemente a resistência ao cisalhamento ao longo de determinada junta subhorizontal só é condicionante se o ângulo de atrito a atribuir tiver que ser inferior a 30° ou 35°



CONCLUSÕES: (1) inaplicável para alertar contra valores extremos catastróficos: Probabilidade P1 (EXTREMO) x P2 (EXTREMO).
 (2) para teorização: apropriado, depende da teoria de base.

ALVO — comparando teorias computacionais (1) vs. (2); Desenvolve ÍNDICE DE REAJUSTE DE RETRO-ANÁLISE (IARA)
 — com ajuda de estudos analíticos das variações paramétricas deve-se quantificar o risco de SI, para desenvolvimento gradual dos limites de fronteira.

Fig. 4 CLASSIFICAÇÃO CONCEITUAL DOS PROBLEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO E PERSPECTIVAS

4.6.10 - Ensaio com cilindro sensível

No caso de rochas densas e friáveis ocorre frequentemente a necessidade de se investigar o estado de tensões internas da rocha, pois que as escavações da própria obra podem provocar fracturações significativas, alterando a condição da fundação. Ocorrem vários casos de rochas sãs, excelentes, terem que ser removidas a frio, após o desmonte cuidadoso do projecto, pelo facto de se terem desenvolvido fracturas novas, atribuídas ao alívio das tensões internas. Na falta de qualquer informação sobre o assunto, convém em cada local começar por realizar tais investigações por rotina, em um ou dois furos, até que se adquiram algumas indicações sobre os estados de tensões internas das nossas rochas e da sua tectónica presumida. Gradativamente à medida que tais informações forem coligidas por rotinas, acumular-se-á experiência que permita dispensar tais investigações em muitos casos.

5. Factores que influenciam a escolha dos tipos de barragens

Os factores predominantes no planeamento e viabilidade da construção de barragens são hidrológicos (matéria prima, água) factores económicos, mercado, etc. porém, em alguns casos extremos, a geologia da represa afecta já nesta fase preliminar, ex.: Barragem Maria Cristina (Espanha) que nunca encheu por ocorrência de fugas.

Quanto a segurança, predominam factores geológico-geotécnicos: análise recente (Madrid, 1964) de 1764 barragens indica 40% de casos de danos e rupturas por factores geológico geotécnicos e 23% por factores hidrológicos. A proporção deverá aumentar no sentido de ocorrências de danos por factores geológico-geotécnicos visto que é possível superdimensionar a superestrutura hidráulica e que a tendência é construir barragens em locais cada vez menos favoráveis.

5.1. Ordem de importância de factores que influem na escolha do tipo de barragem

5.1.a Factores Geológicos tendem a predominar se considerarmos não só a natureza do subsolo mas também a influência da Geologia sobre os outros factores abaixo relacionados.

5.1.b Factores Hidrológico-Hidráulicos. Enquanto vazões médias influem ao máximo no planeamento/viabilidade, agora a intervenção principal é de vazões de desvio e de sangradouro.

5.1.c Topografia — ainda retém a posição importante, porém principalmente por demora de disseminação de novos conhecimentos. Topografia, escorregamentos, etc..., pertencem ao contexto geológico; cabe lembrar que eixos apertados de encostas íngremes são frequentemente de interesse ilusório, hoje os volumes de movimento de terra envolvidos são muito pouco significativos (ex.: Tarbela). Convém sempre comparar inclinações topográficas no eixo,

com as típicas da mesma geologia na região.

5.1.d Materiais de empréstimo, pedreiras, areias, etc... A disponibilidade e a qualidade do material de empréstimo é fundamental na escolha do tipo de barragem e está intimamente ligado à geologia da região.

Pode-se estabelecer, numa segunda etapa, uma sistemática de investigação geológico-geotécnica para materiais de empréstimo da mesma forma que o planeamento sugerido no ítem anterior para a fundação da barragem.

5.1.e Factores económico-construtivos, Factores de tempo e prazos. A consideração inicial neste caso é a finalidade de construção da barragem e os custos envolvidos, parte daí uma limitação quanto ao porte da obra e o nível de sofisticação que será adoptado. Pode, por exemplo, haver necessidade de se betonar rapidamente a Usina para desviar o rio por dentro dela. Devem ser considerados: o transporte de agregados e cimento, a influência do clima sobre a construção do aterro, a influência da topografia sobre acampamento e estradas de serviço, e outros factores condicionantes.

5.1.f Critérios de impermeabilidade das fundações, segurança contra vazamentos e seus efeitos. A análise deste tópico depende das investigações geológico-geotécnicas anteriormente mencionadas (item 4).

5.1.g Em casos raros tem sido considerada segurança perante destruição militar.

Lamentavelmente, diz Wilson no relatório do Estado-da-Arte no Congresso do México (1969), "é frequente a escolha do tipo de barragem baseada na preferência pessoal ou experiência do engenheiro incumbido do projecto"

6. Interpretação e apresentação de resultados das investigações

Finalizando a presente discussão eminentemente dirigida para as conceituações que me parecem mais proveitosas para o desenvolvimento tecnológico integrado, cabe dedicar uns breves comentários à conceituação da apresentação de resultados das investigações.

Na transmissão do bastão de decisões profissionais de um sector especializado para o seguinte, na cadeia extensa que compõe o projecto, reputo, fundamental reconhecer os seguintes princípios: 1) o que deve realmente ser transmitido é a síntese compacta e responsável e não os dados; 2) por obrigação elementar, todos os dados colhidos, que constituíram as bases da síntese supra, devem ser providos na forma de apêndices, para facultar aos demais profissionais uma condição de igualdade de meios para eventuais reinterpretações; 3) na recepção da informação transmitida, o profissional incumbido do próximo passo recebe e apreende a síntese anterior, acata-a ou eventualmente reaparecia, mas basicamente prossegue com uma síntese da sua responsabilidade; e assim por diante.

Observe-se que assim é indispensável que a cada elo haja um conhecimento adequado do passo anterior e/ou do subsequente da cadeia.

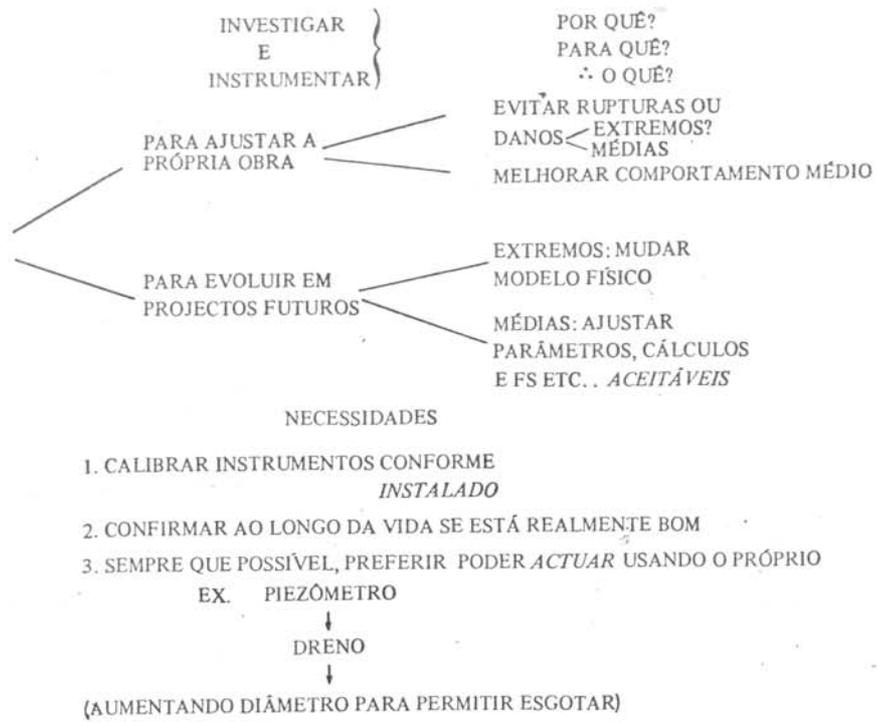


Fig. 5 Conceituação de instrumentação

CONSTRUTORA REGIONAL SUL, E.E.



... A GRANDEZA DE UMA EMPRESA MEDE-SE PELO VALOR DAS SUAS REALIZAÇÕES!

A CONSTRUTORA REGIONAL SUL, é uma empresa do Ministério das Obras Públicas e Habitação. Das nossas actividades, que se estendem por todo o ramo da construção civil, destacam-se:

- TEXMANTA PEMBA
- Abast. água a Pemba PEMBA
- Escola do Partido MATOLA
- C. F. Profissional MATALANE
- Torres Vermelhas MAPUTO
- Abast. água ao Xai-Xai XAI-XAI
- Sede do Banco de Moç. MAPUTO
- 4 moradias da Presidência MAPUTO
- Edifício 33 andares MAPUTO