

QUATRO PROBLEMAS SIMPLES DE GEOLOGIA APLICADA

PAULO TEIXEIRA DA CRUZ

*Professor de Mecânica dos Solos da Escola Politécnica da USP e da Escola de Engenharia de Lins
Consultor da CESP para Solos e Geologia.*

NIVALDO JOSÉ CHIOSSI

*Professor de Geologia Aplicada da Escola de Engenharia de Lins
Geólogo da Promon na H-M-D Estudos e Planejamento do Metro de São Paulo*

RESUMO

Os autores apresentam quatro problemas que envolvem conhecimentos de Geologia e Mecânica das Rochas, com o intuito de mostrar a importância de se desenvolver uma Geologia Aplicada que, além de informar sobre os processos genéticos dos maciços rochosos, possibilite definir o comportamento destes maciços em termos de Engenharia. Pelo fato de problemas análogos já virem sendo estudados e discutidos em cursos normais de Engenharia, quando os mesmos se referem Mecânica dos Solos, os autores indagam em que níveis ou em que cursos tal natureza de problemas deveria ser abordada. Analisando de maneira sumária as várias opções que vem sendo adotadas em diferentes Escolas no tocante a este problema, são então resumidas as tendências mais gerais. Finalmente os autores propõem, em caráter experimental, um curriculum para um curso integrado de Mecânica dos Solos e Geologia Aplicada, curso este no qual as duas disciplinas não apenas pertenceriam ao mesmo Departamento, mas seriam ministradas simultaneamente ou alternadamente. A sugestão básica refere-se a um curso em Escola de Engenharia. Para Escolas de Geologia a sugestão seria bastante semelhante fazendo-se, entretanto, variar a ênfase e a intensidade nas duas disciplinas. Os autores ainda assinalam a conveniência de se desenvolver determinados aspectos do problema em nível de Pós-Graduação.

INTRODUÇÃO

Um lance rápido sobre várias obras ligadas a aproveitamentos hidroelétricos, abertura e duplicação de rodovias e estabilização de encostas, já em construção, em fase de projeto ou apenas em termos prioritários, programados para os próximos 10 a 20 anos, permitiria identificar entre

outras, no campo de barragens (e somente nas Regiões Centro-Sul e Sul do país), as seguintes obras: barragens de Promissão, Três Irmãos, Ilha Solteira, Taquaruçu, D. Francisca, Canoas, Capivara, Água Vermelha, Itaúba, Passo Real, Salto Santiago, Passo Fundo, Salto Ozório, Cerrito, Segredo, Ponte Nova, Jaguari, Capivari-Cachoeira, Encruzilhada, Lança e Laras.

No campo das rodovias, bastaria citar a proposta duplicação da Rodovia São Paulo-Paraná, a Estrada do Imigrante, a Rio-Santos, a continuação da Rodovia Castelo Branco e as várias ligações entre o Vale do Paraíba e o Litoral.

No campo da estabilização de encostas, lembraríamos os escorregamentos verificados em Santos, Rio de Janeiro, na Serra das Araras, na estrada Paraibuna-Caraguatatuba e os movimentos quase permanentes que se verificam ao longo das estradas que cortam a Serra do Mar, tais como os escorregamentos da Via Anchieta e os da ligação São Paulo-Curitiba.

Dizer da importância que assumem a Geologia Aplicada e a Mecânica dos Solos, nestas obras seria repetir o óbvio. A experiência acumulada nestes últimos anos tem mostrado que tanto a Geologia, como a Mecânica dos Solos, muitas vezes desenvolvida por Geólogos, no primeiro caso e Engenheiros, no segundo caso, tem se preocupado e contribuído de maneira importante, na formulação e na solução de problemas ligados a natureza das obras acima enunciadas. Nota-se, no entanto, que existe por parte destes profissionais a falta de uma linguagem comum. Esta deficiência leva às vezes, a dificuldades de um entendimento que poderia ser explicado, considerando-se os fatores básicos seguintes:

- Elaboração por parte dos Geólogos, de relatórios “Ultra Geológicos”;
- Desconhecimento pelos Engenheiros Civis da Aplicação da Geologia em vista da natureza dos cursos de Geologia ministrados para Engenheiros, cujos currículos, muitas vezes, podem ser considerados inadequados e até superados.

No primeiro caso, a falta de objetividade e praticidade do Relatório Geológico se manifesta através de descrições não objetivas, onde são abordadas frequentemente e até cansativamente (para o engenheiro) teorias genéticas, datações geológicas, mineralogia exaustiva, por um lado, mas ao mesmo tempo, generalizações extremas, como por exemplo, a identificação de uma rocha como sendo muito fraturada ou ainda uma outra como estando mais ou menos alterada.

No segundo caso, em vista da falta de conhecimentos geológicos pelos engenheiros, muitas vezes, torna-se difícil uma visualização e uma compreensão da aplicação da Geologia.

Esta falta de linguagem e, além disso, diferença de enfoque, leva muitas vezes, a nos depararmos com problemas que envolvem tanto Solos como Geologia e que muitas vezes não são resolvidos da maneira mais satisfatória, porque nem os Geólogos são capazes de resolver o problema globalmente e nem os Engenheiros são capazes de elucidar as implicações da Geologia.

A nosso ver, um primeiro passo no sentido de integrar estas duas áreas da Engenharia Civil, seria aquele de introduzir nas Escolas de Engenharia, cursos adequados de Geologia Aplicada e por outra parte, nas Escolas de Geologia, cursos de Mecânica dos Solos.

QUATRO PROBLEMAS SIMPLES DE GEOLOGIA APLICADA

A seguir são mostrados quatro problemas que envolvem conhecimentos de Geologia Aplicada e Mecânica das Rochas.

1) No primeiro problema temos o caso de uma barragem de terra assente sobre uma espessa camada de rocha, que apresenta planos preferenciais de percolação de água. A situação crítica seria aquela que levaria ao levantamento da área

de jusante da barragem devido a um excesso de sub-pressões num determinado plano. Suponhamos que as pressões nesse plano, a uma profundidade H , têm um valor equivalente a z metros de água. Uma vez que o peso do maciço rochoso seja superior ao empuxo resultante desta sub-pressão, há uma condição de equilíbrio, O problema que se propõe seria de que esta sub-pressão atuante no plano 0-0 pudesse se transmitir em parte, ao plano superior 0'-0' e provocar uma condição de instabilidade neste plano superior, A questão básica seria de se poder definir como esta pressão se transmite de um plano ao outro, através de um estudo do sistema de fissuramento em planos verticais que ocorresse neste tipo de rocha.

Se não se puder definir a contento esta transmissão de pressões a cotas mais elevadas, o projetista poderá ser levado à adoção de uma solução alternativa, tal como uma injeção de cimento a montante o que pode representar um custo elevado, e que poderia ser evitado se os problemas de infiltração de água nesse maciço rochoso fossem convenientemente definidos.

2) No problema 2 encontramos uma super-estrutura de concreto, apoiada sobre o maciço rochoso formado por uma sucessão de derrames de basalto. Os planos de contato entre os derrames ou os planos de diaclases ou fissuras deste maciço rochoso, se apresentam em cotas diferentes e com diferentes valores de resistência ao cisalhamento, Equacionando-se as forças horizontais atuantes nesta estrutura (de uma maneira simplificada) verificamos que poderá ocorrer um deslocamento da estrutura para jusante, tanto no plano superior do contato concreto-fundação, como em planos inferiores.

Se a resistência ao cisalhamento nestes planos, puder ser convenientemente definida, poder-se-á limitar a escavação da fundação e seu reenchimento com concreto à menor cota, ou seja, aquele plano que representa o coeficiente de segurança mínimo aceitável, O desconhecimento do mecanismo de resistência ao cisalhamento da rocha, nestes vários planos, poderá levar o projetista a escavações relativamente profundas ou ainda a adoção de uma série de sistemas de injeções, ou de chumbamentos que representam, tanto um maior tempo de construção, como um custo elevado.

3) No problema 3, encontramos um túnel aberto em maciço rochoso. Este túnel é revestido

com uma camada de concreto e será submetido a pressões internas, correspondentes a uma determinada coluna d'água. Entre o concreto e a rocha serão procedidas injeções de colagem e preenchimento.

Se parte desta pressão interna transmitida ao revestimento de concreto, puder ser absorvida pela rocha, sendo transmitida pela injeção de colagem, este revestimento poderá ser reduzido, o que implica num menor custo e também num menor tempo de execução. A determinação dos módulos de elasticidade destes três materiais seria fundamental para se definir as parcelas de pressão absorvidas por cada um dos materiais. Se estas propriedades mecânicas não forem conhecidas, o projetista poderá ser levado à adoção de um revestimento blindado, que certamente seria mais caro.

4) O último problema se refere à abertura de um Canal num maciço rochoso, com capeamento de solo. As heterogeneidades deste maciço rochoso, bem como o seu sistema de diaclases, poderão levar à abertura deste Canal com taludes instáveis. A adoção de um talude estável a priori, que levasse em conta todas as probabilidades de fatores desfavoráveis poderá tornar a obra antieconômica. Por outro lado, a abertura de taludes excessivamente íngremes, poderia levar a surpresas desagradáveis. O problema, portanto, exigiria um conhecimento adequado do tipo de material e de suas propriedades mecânicas, para que os princípios teóricos de estabilidade de taludes, pudessem ser considerados.

Associada ainda a este problema do Canal, estaria a definição ou o estudo do comportamento deste maciço rochoso durante o tempo e submetido à erosão provocada pela incidência de chuvas e mesmo à erosão na base resultante da oscilação sistemática do nível d'água.

Estes quatro problemas simples são aqui introduzidos para mostrar a importância de se desenvolver uma Geologia Aplicada, que além de poder informar sobre os processos formativos dos maciços rochosos, sua história, e seu desenvolvimento em eras geológicas, possa chegar à definição, num ponto (por assim dizer) do comportamento em termos de Engenharia destes maciços, quando submetidos aos tipos de solicitação elucidados.

Ora, problemas semelhantes da mesma natureza, já veem sendo estudados e discutidos em cursos normais de Engenharia, quando os mesmos se referem à Mecânica dos Solos. O problema portanto, seria de se perguntar em que níveis ou em que cursos tal natureza de problemas deveria ser abordada, uma vez que este tipo de problemas, certamente poderão ocorrer simultânea ou isoladamente, nas inúmeras obras ligadas a aproveitamentos hidroelétricos, rodovias e a estabilização de encostas, já citados na Introdução deste trabalho.

SOBRE UM CURRÍCULO PARA UM CURSO INTEGRADO DE MECÂNICA DOS SOLOS E GEOLOGIA APLICADA

Analisando de maneira sumaria as várias opções que vêm sendo adotadas em diferentes Escolas no tocante a este problema, poderíamos enunciar quatro enfoques que resumiriam as tendências mais gerais:

1) As disciplinas de Mecânica dos Solos e de Geologia são integradas e ficam associadas ao(s) Departamento(s) de Engenharia Civil das várias Escolas, e mesmo num caso extremo poderiam chegar a se constituir num Departamento a parte, de Solos e Geologia.

2). As disciplinas de Geologia e Mecânica dos Solos, são ministradas numa mesma Escola, mas em níveis diversos, uma vez que a Geologia é considerada disciplina fundamental e portanto incluída nos primeiros anos (biênio fundamental), enquanto que as disciplinas de Mecânica dos Solos, são consideradas de aplicação e são ministradas nos últimos anos do curso.

3) Tem-se reconhecido a necessidade de introduzir nas Escolas de Geologia, cursos fundamentais de Mecânica dos Solos e vice-versa. A disciplina de Solos assume então um caráter de disciplina autônoma nas Escolas de Geologia, podendo ocorrer o mesmo com as disciplinas de Geologia nas Escolas de Engenharia.

4) No curso normal para Escolas de Engenharia deveria ser apenas ministrada a disciplina de Geologia Fundamental, bem como, disciplinas relacionadas com os fundamentos de Mecânica dos Solos, deixando-se para o nível de Pós-Gra-

duação, a discussão de problemas específicos que seriam incluídos em disciplinas tais como: Mecânica dos Solos Avançada (Complementos de Mecânica dos Solos), Aplicações da Mecânica dos Solos, Geologia Aplicada e Mecânica das Rochas.

Nossa posição no tocante ao ensino de disciplinas de Geologia Aplicada se inclui melhor na primeira das alternativas acima enunciadas. Reconhecemos, no entanto, a importância de em cursos de Pós-Graduação bem formulados, a necessidade de se introduzir disciplinas adiantadas tanto em Solos, como em Geologia, mesmo porque dentro do atual conceito de formação de Engenheiro Civil, não se deve pretender que os Engenheiros formados numa grande gama de áreas específicas, possam chegar a alguma especialização, quer neste, quer naquele campo. A ideia, de se associar disciplinas de Geologia e Mecânica dos Solos, se deve ao fato de que estes dois materiais são “parentes” extremamente próximos e que entre os solos, propriamente ditos e as rochas, propriamente ditas, existe toda uma faixa de transição, de rochas alteradas e solos ainda com vestígios da rocha-mãe, que são estudados numa e noutra disciplina, mas com ênfase diversa.

O que se propõe a seguir é feito em caráter experimental e mesmo submetido a discussão neste Seminário, uma vez que ele resulta de algumas experiências didáticas nestes campos, dos autores deste trabalho, mas também de alguma especulação em torno do tema.

A nosso ver, as disciplinas de Solos e Geologia não deviam apenas pertencer ao mesmo Departamento, mas deveriam ser ministradas simultaneamente ou alternadamente. Desta forma, o aluno seria levado a compreender a interligação destes dois tipos de formações naturais e aprenderia, se possível, a resolver os quatro problemas simples enunciados neste trabalho.

Como sugestão básica para um curso de Escola de Engenharia teríamos a propor que o curso deveria ser dividido em várias partes.

No caso de currículos para Escolas de Geologia, a sugestão seria bastante semelhante, fazendo-se variar, no entanto, a ênfase e a intensidade nas disciplinas de Solos e Geologia, envolvidas.

PRIMEIRA PARTE - CONHECIMENTOS BÁSICOS DE SOLOS E GEOLOGIA (1SEMESTRE)

- Origem e Evolução de Solos e Rochas
- Caracterização e Identificação de Solos e Rochas
- Ensaio básicos de laboratório e campo
- Classificação mineralógica e textural de Rochas
- Classificações gerais de Solos
- Alteração, Desagregação e Fraturamento de Rochas
- Propriedades Básicas de Solos e Rochas, associadas a características de classificação e identificação
- Investigações de sub-solos e Métodos de Prospecção
- Aerofoto interpretação: Poços e Trincheiras; Sondagens (trado, percussão, rotativa); Sondagens Especiais; Métodos sísmicos, elétricos, gravimétricos.
- Estruturas de Solos” e “Estruturas de Rochas”
- Intemperismo; Processos Pedológicos; Laterização.

SEGUNDA PARTE - PROPRIEDADES DE ENGENHARIA DE SOLOS E ROCHAS (1SEMESTRE)

- Conceitos Teóricos de Permeabilidade, Deformabilidade e Resistência ao Cisalhamento
- Conceitos Teóricos de meios contínuos e meios descontínuos
- Homogeneidade e Heterogeneidade de Formação de Solos, Alterações de Rocha; Diferenciação de Rocha e Maciço Rochoso; Anisotropias.
- Permeabilidade de Solos e Rochas - Técnicas de Ensaio
- Características de Compressibilidade e Expansibilidade de Solos e Rochas - Técnicas de Ensaio
- Características de Resistência ao Cisalhamento de Solos e Rochas - Técnicas de Ensaio
- Equilíbrio de Maciços
- Pressões Laterais
- Pressões em Túneis e Galerias em Solos e Rochas

TERCEIRA PARTE - APLICAÇÃO DE CONHECIMENTOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS À SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ENGENHARIA (2 SEMESTRES)

1. Fundações

- Fundações Rasas e Profundas
- Escolha de Tipos de Fundações
- Projetos de Fundações
- Recalques de Fundações

2. Rebaixamento do lençol freático

- Métodos de Rebaixamento
- Hidrogeologia
- Sub-pressões

3. Obras de terra

- Escoramentos de Valas e Estacas-Prancha
- Aterros sobre Solos Moles
- Cortes e Estabilização de Taludes Naturais em Solos e Rochas, Classificação de Escorregamentos; Causas; Taludes em Solos e Rochas; Drenagens, Tratamentos Superficiais
- Muros de Arrimo

4. Barragens

- Estabilidade de Maciços Compactados e Enrocamentos
- Fundações em solos
- Fundações em Rochas
- Sistemas de Drenagem
- Sistemas de Vedação
- Injeções de Cimento e outros produtos
- Pesquisas de Materiais de Construção, Pedreiras; Portos de cascalho e areia; agregados para concreto, áreas de empréstimo
- Técnicas Construtivas
- Projetos de Barragem

QUARTA PARTE - PROBLEMAS ESPECIAIS DE MECÂNICA DOS SOLOS E MECÂNICA DAS ROCHAS

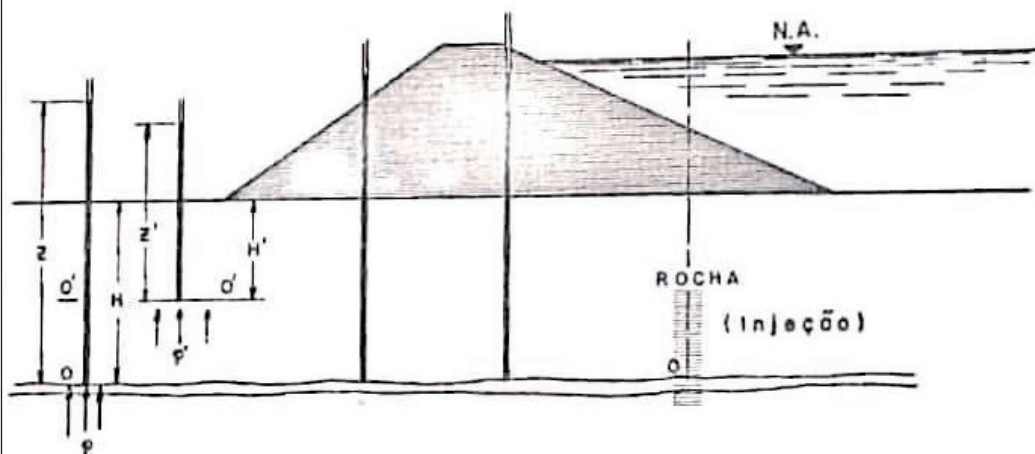
- Abertura de Canais em solos moles; em alteração de rocha; em rochas
- Estudos de Projetos Reais, tanto de Fundações, como Obras de Terra
- Análise de “Case Histories”
- Fundações de Máquinas
- Problemas Construtivos de Túneis em Solos e Rochas
- Análise de Problemas que ocorrem na construção de metropolitanos
- Interrelação de projetos de Mecânica dos Solos e Geologia com outras obras civis que ocorrem no mesmo canteiro de obra.

Observação: Esta quarta parte do curso, poderá envolver também estágios em obras, preparo de uma dissertação ou mesmo de uma tese. A própria natureza dos problemas desenvolvidos, viria sugerir que esta parte do curso, seria melhor desenvolvida, já em nível de Pós-Graduação. Ela é aqui incluída, apenas no sentido de complementar as três partes anteriores e de mostrar a importância de se discutir já em nível escolar, problemas reais da Engenharia.

Gostaríamos de salientar finalmente que as sugestões acima indicadas dizem respeito especificamente à Geologia Aplicada à parte de Engenharia Civil e não interfere em outros setores da Geologia, que se voltam por exemplo, para Engenharia de Minas, Petrografia, Geologia Econômica, Prospecção, etc.

Deixamos claro que a formação de engenheiros em outras áreas, bem como de geólogos, deverá necessariamente incluir aquelas disciplinas ligadas a Geologia e que tratam especificamente daqueles assuntos da sua própria formação profissional. Em outras palavras significa que esta proposta de um currículo integrado de Solos e Geologia não elimina as outras disciplinas usualmente ministradas em outros anos, com objetivos bem determinados.

PROBLEMA 1
SUB-PRESSÃO



$$\begin{cases} p = \gamma_o \cdot z \\ \sigma_r = \gamma \cdot H \end{cases}$$

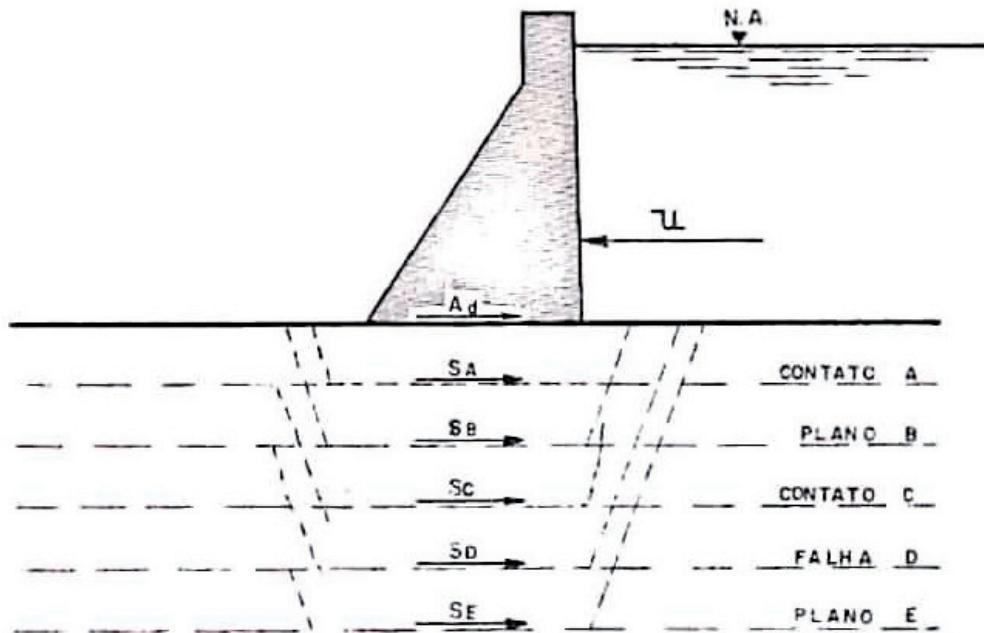
SE $\sigma_r > p - c$ HÁ EQUILIBRIO

SE $\sigma_r \leq p - c'$ PODE HAVER RUPTURA

- a) - A PRESSÃO p PODE TRANSMITIR-SE A UM PLANO SUPERIOR ?
- b) - QUAL A PERDA DE CARGA QUE OCORRE NESTA TRANSMISSÃO ?
- c) - HÁ PERIGO DE LEVANTAMENTO (RUPTURA) NO PLANO O'-O' ?

— ALTERNATIVA - INJEÇÃO DE CIMENTO A MONTANTE

PROBLEMA 2
ESTABILIDADE



NA EQUILÍBRIO SE $U \leq S + F$

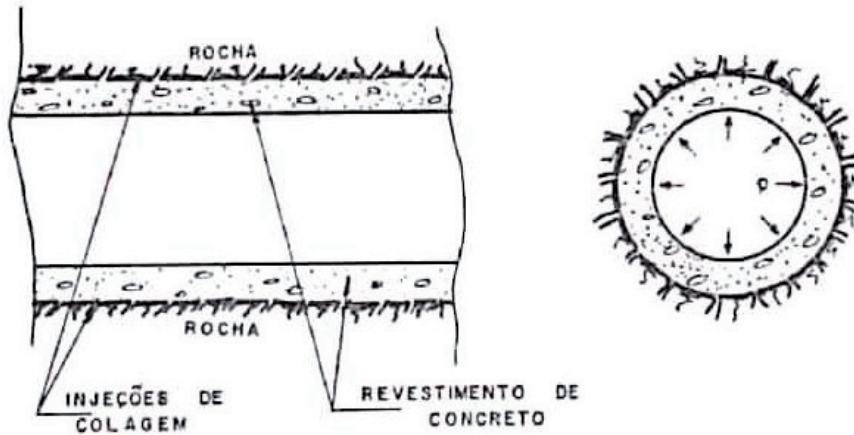
a)- QUAIS OS VALORES DE Ad , SA ; SB ; SC ; SD ; SE ?

b)- QUAL A PROFUNDIDADE MÍNIMA DE ESCAVAÇÃO NECESSÁRIA PARA EQUILÍBRIO ?

— ALTERNATIVA - REMOÇÃO DE 2 CAMADAS ATÉ ROCHA Sã (?) E RE-ENCHIMENTO COM CONCRETO.

PROBLEMA 3

TUNEL



$P = p_{\text{concr.}} + p_{\text{ench.}} + p_{\text{rocha}}$ EQUILÍBRIO

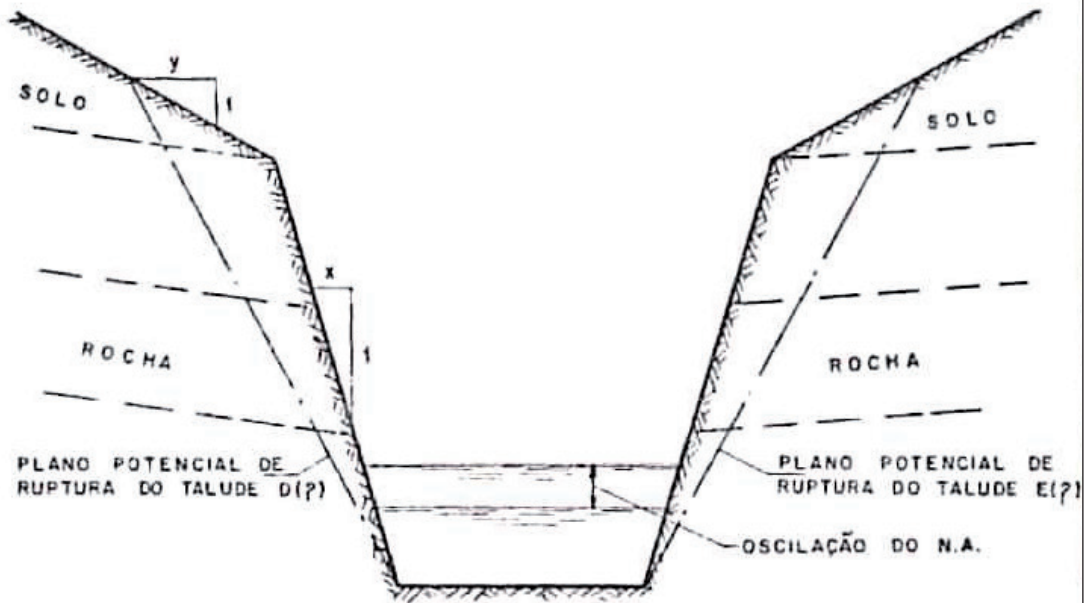
$p_{\text{concr.}} = f(E_{\text{concr.}}) \quad p_{\text{ench.}} = f(E_{\text{ench.}}) \quad p_{\text{rocha}} = f(E_{\text{rocha}})$

- a)- QUAIS OS VALORES DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS 3 MATERIAIS ?
- b)- QUAIS AS PARCELAS DE PRESSÃO ABSORVIDAS PELOS 3 MATERIAIS ?
- c)- QUAL A ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO E QUAL A FERRAGEM MÍNIMA ?

— ALTERNATIVA - REVESTIMENTO BLINDADO

PROBLEMA 4

CANAL



a) QUAL O VALÔR DE X ? - E O VALÔR DE Y ?

b) SE $x = x_1$ VOLUME DE ESCAVAÇÃO = V_1 E $F = F_1$
 " $x = x_2$ " " " = V_2 E $F = F_2$

c) $V_2 - V_1$ = DIFERENÇA DE CUSTO PARA AUMENTAR
 O COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE $F_2 - F_1$