

Apresentação

Que honra e responsabilidade escrever sobre o nosso querido amigo Urbano e sua obra. Filho de imigrantes espanhóis e galego, como eu, vindos do Velho Mundo após a Segunda Guerra Mundial para “fazer a América”, como diziam nossos pais. Adotou esta terra para crescer, estudar e formar sua família. Em vários momentos de trabalhos voluntários, conjuntos, o Urbano citou seu entusiasmo e dever em retribuir a este país o carinho pela acolhida de sua família e abertura de oportunidades para a sua formação pessoal e profissional.

Engenheiro, professor e profissional de reconhecido saber, tem contribuído para o desenvolvimento do conhecimento de nossa área geotécnica, mostrando suas ponderações e avaliações de forma convicta e por vezes polêmica. Indutor e inovador de conhecimento, oferece-nos este acervo de informações consolidadas sobre a teoria e a prática de rebaixamento do nível d’água para obras civis. Trata-se de um tema importantíssimo para o bom exercício da engenharia geotécnica e da preservação do entorno, especialmente nos centros urbanos onde a ocupação do meio físico é intensa.

A interação do subsolo existente com os seus vários níveis d’água e a ocupação desse espaço pelo homem exigem o uso de técnicas de engenharia para escavação e controle desses níveis de maneira eficiente e eficaz. A construção da infra-estrutura de qualquer país tem grande impacto na sua capacidade de crescimento econômico. O engenheiro encarregado pelo projeto, pela construção e recuperação ou manutenção de obras tem a grande responsabilidade de proporcionar soluções econômicas, seguras e confiáveis perante a sociedade.

Rebaixamento Temporário de Aquíferos compreende cinco capítulos que se sucedem de forma clara e didática. O autor conceitua e descreve o movimento da água no solo e a circulação hidráulica nas tubulações para formar o embasamento teórico necessário e introduzir e discutir, no capítulo três, os sistemas de rebaixamento do nível d’água mais importantes em nossa prática de engenharia. O capítulo quatro constitui o cerne deste livro, com os métodos de dimensionamento das diversas configurações de rebaixamento que o subsolo e as obras apresentam, complementados por

sistemas de drenagem – drenos e canaletas –, que fecham o volume, no capítulo cinco. Além de casos reais, exercícios resolvidos enriquecem a apreensão da matéria ao final de cada capítulo.

Sem dúvida, é mais uma obra que permitirá tanto aos jovens como aos experientes profissionais que militam na área geotécnica o aprimoramento de seu estudo e trabalho.

Argimiro Alvarez Ferreira

Presidente do Núcleo São Paulo da ABMS
Assistente técnico da diretoria de engenharia do Metrô de São Paulo

Prefácio

Em 1999, quando trabalhava nas empresas associadas Geofix e Tecnogeo, foi-me solicitada por esta última a elaboração de um catálogo técnico de seus serviços de rebaixamento. Como já dispunha de um volume considerável de anotações sobre esse assunto, propus aos responsáveis por essas empresas que financiassem um livro em substituição ao catálogo, pois, a meu ver, tal obra seria muito bem-aceita no meio técnico, já que há pouca literatura nacional nessa área. Eles concordaram com a idéia prontamente e financiaram a edição de um livro (que serviu de embrião a este, agora lançado pela Oficina de Textos), com tiragem de 2.000 exemplares, distribuídos gratuitamente a todos os associados da ABMS (Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica), da ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental) e também aos seus clientes.

Desde aquela época, não mais foram reimpressos volumes desse livro, mesmo após ter-se esgotado a edição. Cabe registrar que esse primeiro livro foi impresso na gráfica Laramara, uma instituição beneficente para crianças com deficiência visual. Como havia necessidade de conter custos, o trabalho foi editado por mim, com todas as limitações que tenho nessa atividade. Apesar de alguns erros de edição, a obra foi bem-aceita pelos colegas engenheiros, que muitas vezes me telefonaram para conseguir um exemplar – o que era impossível, pois os números de que dispunha também se esgotaram rapidamente.

Em virtude dessa demanda e atendendo a um convite da editora Oficina de Textos, revi os erros que haviam saído na edição da Laramara e acrescentei alguns tópicos relevantes que não constavam naquela edição.

Quero nesta oportunidade deixar registrados, mais uma vez, meus agradecimentos aos engenheiros e amigos Heitor Manrubia, da Geofix, e Antônio Roberto de Matos, da Tecnogeo, que aceitaram a minha sugestão de editar um livro em vez de um catálogo e financiaram a edição impressa na gráfica da Laramara. Também agradeço à colega Shoshana Signer, diretora da Oficina de Textos, pelo convite para editar este novo livro sobre Rebaixamento Temporário de Aquíferos.

Espero, finalmente, que seja uma obra útil a meus colegas e afirmo que sugestões ou críticas serão sempre bem recebidas, podendo ser encaminhadas à Editora, que as fará chegar às minhas mãos.

O autor
São Paulo, agosto de 2007.

Pelo princípio da conservação da energia, a precipitação total de água da atmosfera é sempre igual à evaporação e à transpiração recebidas. Entretanto, o tempo necessário para que uma partícula de água passe por uma ou mais fases do ciclo hidrológico é extremamente variável. Por exemplo, uma partícula pode evaporar-se no oceano e, em um breve período de tempo, precipitar-se e voltar à mesma superfície de água. Mas, se for deslocada pelos ventos e cair sobre uma alta montanha ou nas regiões polares, pode permanecer na forma de geleiras ou *icebergs* durante meses, anos ou até séculos, até que o gelo derreta e a partícula de água se una a outras resultantes do degelo e retorne, novamente, ao oceano.

Parte da água infiltrada no solo pode retornar à superfície por capilaridade e evaporar-se diretamente para a atmosfera, ou ainda ser absorvida pelas raízes das plantas, retornando à atmosfera após a transpiração dos vegetais. Entretanto, grande quantidade da água precipitada nos continentes penetra por gravidade no solo, até atingir as zonas saturadas que armazenam a água subterrânea e permitem sua circulação – são os denominados *aquíferos*.

Quando uma escavação atinge esses aquíferos e se torna necessário executar qualquer serviço a seco, é preciso esgotar a água desse local. Os processos empregados para essa finalidade são objeto do que se denomina *rebaixamento temporário de aquíferos* ou, mais popularmente, *rebaixamento do nível freático*.

1.3 TIPOS DE AQUÍFEROS

Os aquíferos costumam ser divididos em dois tipos: livres (também denominados freáticos) e artesianos. Os aquíferos livres são aqueles em que a água assume uma pressão igual à atmosférica (Fig. 1.5); por sua vez, os aquíferos artesianos apresentam a água submetida a uma pressão superior à atmosférica (Fig. 1.6).

Para a compreensão do funcionamento de um aquífero artesiano, deve-se imaginar uma situação como a indicada na Fig. 1.6, na qual se executa um poço até a camada de baixa permeabilidade (poço nº 1). Nesse poço, o nível d'água localiza-se na posição N.A.1. Se outros poços (nº 2 ou nº 3), mais profundos, forem escavados nas proximidades do poço nº 1, enquanto os fundos desses poços estiverem dentro da camada de baixa permeabilidade, o nível da água permanecerá em N.A.1 (poço nº 3) ou praticamente seco (poço nº 2). Entretanto, quando o fundo da escavação desses poços ultrapassar a camada de baixa permeabilidade, o nível da água subirá bruscamente para o nível N.A.2. Esse fenômeno é conhecido como *artesianismo*. O cálculo das pressões efetivas, nesse caso, é apresentado no Exercício 1.9.3.

Atualmente, o termo poço artesiano já extrapolou sua origem etimológica, pois, em termos corriqueiros, refere-se a qualquer poço para a obtenção de água a grande profundidade. A origem do nome está associada à província de Artois, situada ao norte da França. Essa região ficou conhecida quando se concluiu, com sucesso, um poço em 1126, utilizando-se as primeiras técnicas de perfuração em substituição às tradicionais escavações a céu aberto (*Água subterrânea e poços tubulares*, da Cetesb). Há registro

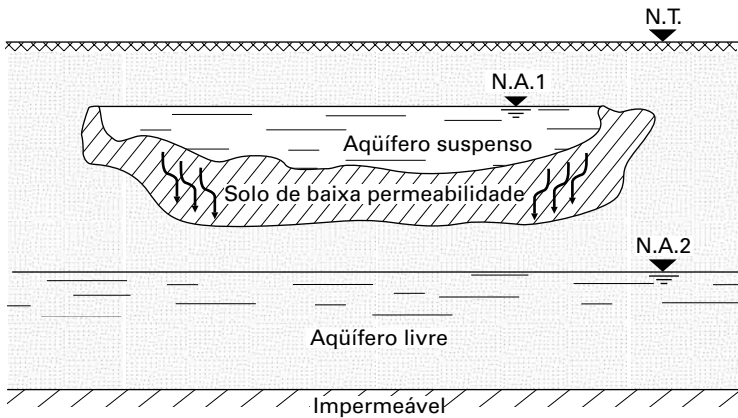


Fig. 1.5 Aquíferos livres

de que os primeiros poços perfurados nessa região foram feitos por frades da ordem de São Bruno, que utilizaram o princípio dos vasos comunicantes. Obtinham, assim, um jato de água que jorrava à superfície, em um poço que fosse perfurado a determinada profundidade, de modo que o nível de água recebesse a pressão de qualquer reservatório de água localizado em plano mais elevado.

Ainda com base na Fig. 1.6, podem-se diferenciar dois tipos de poços artesianos: o poço nº 2 denomina-se *poço artesiano não jorrante* (pois o nível de água nele existente se mantém abaixo do nível do terreno), enquanto o poço nº 3 se chama *poço artesiano jorrante* (pois o nível de água é superior ao terreno em que foi perfurado).

O artesianismo também pode ocorrer pelas pressões de gás (em especial, o metano), sob um aquífero, como apresentado na Fig 1.7. Esta mostra a ocorrência de artesianismo durante a execução de uma sondagem à percussão na cidade de Itajaí (Santa Catarina), no momento em que sua perfuração ultrapassou o final da camada “impermeável” confinante, que mantinha a água sob pressão do gás estancada.

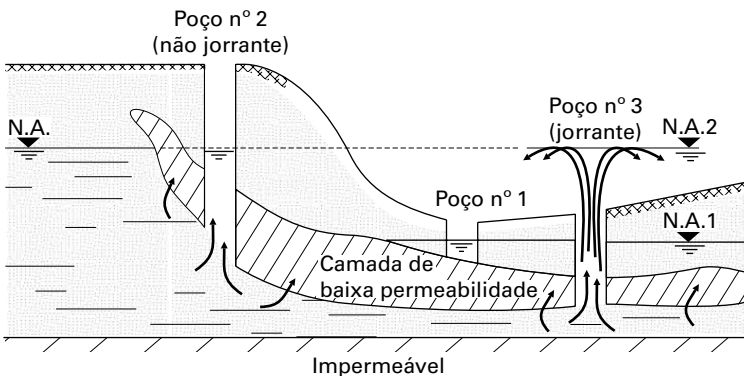


Fig. 1.6 Aquífero artesiano natural

ANEXO

ÍNDICES FÍSICOS

Os índices físicos são relações entre pesos, entre volumes e entre pesos e volumes que permitem conhecer as características físicas do solo em determinado estado.

O solo é constituído por grãos (sólidos) e vazios que são ocupados por água e ar, de tal sorte que, se fosse possível separar esses três componentes, obteríamos uma figura conforme mostrado na Fig. a.1. Nela, os grãos (sólidos) ocupam um volume V_s , cujo peso é P_s . Analogamente, a água ocupa um volume V_w , cujo peso é P_w . O ar, por não ter peso, só ocupa o restante do volume total V_t . O peso total P_t é igual a $P_s + P_w$. O volume ocupado pela água e pelo ar corresponde ao volume de vazios V_v .

Os índices físicos são o peso específico, o grau de saturação, a umidade (também denominada teor de umidade), o índice de vazios e a porosidade, assim definidos:

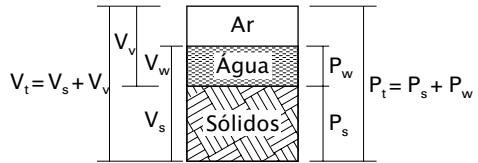


Fig. a.1 Idealização de uma amostra de solo

- a) Peso específico natural = relação entre o peso total e o volume total, ou seja:

$$\gamma = \frac{P_t}{V_t} \quad \text{[a.1]}$$

- b) Peso específico dos grãos = relação entre o peso dos grãos e o volume dos sólidos:

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \quad \text{[a.2]}$$

- c) Grau de saturação (expresso em %) = relação entre volume de água e o volume de vazios:

$$S_r(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad \text{[a.3]}$$

- d) Umidade (expressa em %) = relação entre o peso de água e o peso dos grãos:

$$W(\%) = \frac{P_w}{P_s} \quad \text{[a.4]}$$

- e) Índice de vazios = relação entre o volume de vazios e o volume dos sólidos:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \text{[a.5]}$$

- f) Porosidade (expressa em %) = relação entre o volume de vazios e o volume total:

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \quad \text{[a.6]}$$

Aqui, vale destacar alguns pontos importantes dos índices físicos. Por exemplo, o teor de umidade é o único índice (expresso em porcentagem) que pode ser superior a 100%, pois o peso de água, em uma amostra, pode ser maior que o dos grãos (ver Eq. a.4).

Se está saturado ($S_r = 100\%$, ou seja, volume de água igual ao volume de vazios) tem-se o solo com seu maior peso específico, que corresponde ao peso específico saturado (γ_{sat}).

O peso específico dos grãos varia de 26 kN/m^3 a 28 kN/m^3 . Quando não se dispõe desse índice, pode-se adotar seu valor médio $\gamma_s = 26,7 \text{ kN/m}^3$.

Os índices e e n só são diferentes na parcela do denominador. Para não confundi-los pode-se usar a regra mnemônica apresentada no final do item 1.4.

Com base nas definições anteriores e na Fig. a.1, podem-se obter duas figuras, que facilitam muito as correlações entre todos os índices físicos (Fig. a.2). Esse desmembramento só é possível porque se pretende obter correlações entre os diversos índices físicos e por serem definidos como relações entre duas outras grandezas (peso/peso ou peso/volume). A representação de uma dessas grandezas de referência (geralmente o volume) pelo valor unitário ($V_s = 1$, ou $V_t = 1$) não muda, nem as definições, nem as correlações, porém facilita, e muito, a dedução da correlação entre os diversos índices físicos:

Por exemplo, ao se fazer $V_s = 1$ na Fig. a.1, resulta $V_v = e$ (Eq. a.5); portanto, o volume total será expresso por:

$$V_t = V_s + V_v = 1 + e \quad \text{[a.7]}$$

Ainda em decorrência da imposição de $V_s = 1$, o peso específico dos sólidos será γ_s (ver Eq. a.2) e o volume de água $V_w = S_r \times e$ (Eq. a.3) e, portanto, o peso da quantidade de água da mostra $P_w = V_w \cdot \gamma_w = S_r \times e \times \gamma_w$ (Fig. a.2, à esquerda). Pode-se utilizar mesmo raciocínio quando se faz $V_t = 1$ (Fig. a.2, à direita). Assim, foi possível estabelecer as diversas correlações entre os índices físicos, conforme se mostra no Quadro a.1. A partir dela podem-se ampliar outras correlações, de uso importante em mecânica dos solos, como mostrado a seguir:

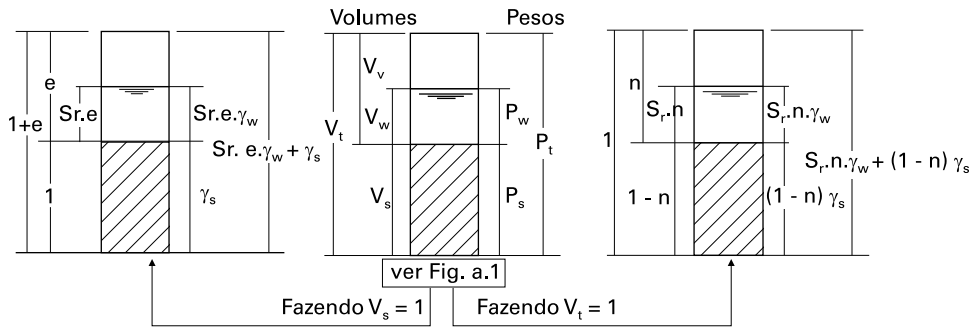
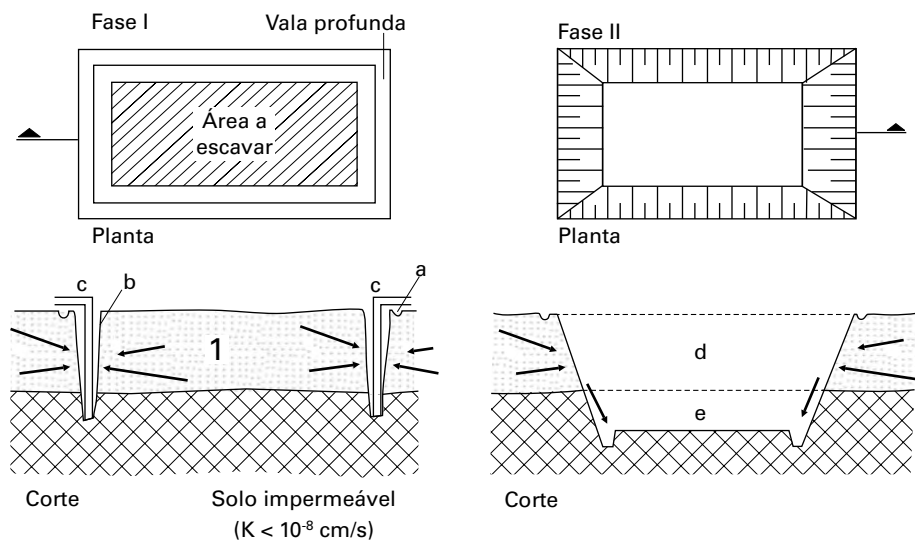


Fig. a.2

Existem duas situações em que esse sistema de rebaixamento, indicado na Fig. 3.2, pode ser usado, em vista da “pequena” espessura da camada permeável, em relação à profundidade da escavação que repousa sobre um extrato “impermeável” ($k \leq 10^{-8}$ cm/s).

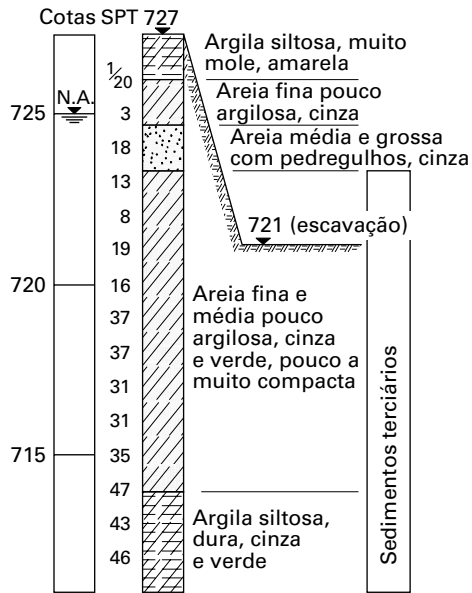
Nessa situação, pode-se realizar a escavação com base na metodologia apresentada na Fig. 3.4. Duas obras em que essa metodologia foi utilizada são mostradas nas Figs. 3.5 e 3.6. A primeira obra apresenta uma escavação de grandes dimensões, em planta, nos sedimentos terciários da bacia de São Paulo, próximo ao rio Tietê, na cidade de São Miguel Paulista (SP). Na Fig. 3.5, a foto A corresponde à fase I da Fig. 3.4 e a foto B mostra o início da fase II. Na foto C, vê-se a escavação geral concluída, iniciando-se a preparação das cavas para a execução das fundações da estrutura a ser implantada.

As fotografias A e B da Fig. 3.6 foram obtidas em uma escavação nos sedimentos da bacia do rio Paraíba do Sul, próximo à cidade de Resende (RJ), onde também se utilizou a metodologia apresentada na Fig. 3.4. Nesse caso, porém, necessitou-se complementar a fase I, com o uso de ponteiros filtrantes (ver item 3.3), por causa do grande volume de água que percolava pela camada de areia média e grossa, com pedregulhos. É importante ressaltar que, também em alguns trechos da primeira obra, mostrada na Fig. 3.5, houve a necessidade desse procedimento, embora em escala menor.



- a) Executar valetas de crista para coleta das águas de chuva.
- b) Executar, no contorno da escavação, uma vala profunda até a camada “impermeável” e instalar bombas de recalque (ver Fig. 3.5a).
- c) Manter as bombas operando até se extrair toda a água do maciço [1].
- d) Escavar o maciço [1] fazendo a proteção do talude nos locais onde houver desbarrancamentos (ver Fig. 3.2).
- e) Continuar a escavação no solo “impermeável” mantendo-se as bombas em operação, porém deslocando-as para baixo à medida que a escavação se aprofunda (ver Fig. 3.5b e 3.5c).

Fig. 3.4 Rebaixamento de grandes áreas com “pequena” espessura de camada permeável



A



B



C



Fig. 3.5 As fotografias A e B mostram a fase I da Fig. 3.4, e a C, a fase II (bacia de São Paulo)