

Fol  
03658

II CURSO SOBRE MANEJO DE SOLO E ÁGUA EM  
PROPRIEDADES AGRÍCOLAS DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO  
PERÍODO: 30 DE AGOSTO A 29 DE SETEMBRO DE 1983

UTILIZAÇÃO DAS FONTES DE ÁGUA NO SOLO  
EMPREGO DE CATAVENTOS E RODAS DE ÁGUA  
PARA ACIONAMENTO DE BOMBAS

PAULO SÉRGIO DE SOUZA MAGALHÃES

1983  
PETROLINA, PE



## 1. Águas Subterrâneas e sua utilização

### 1.1. Generalidades

As águas subterrâneas vêm sendo usadas pela humanidade desde tempos antigos. O Velho Testamento contém numerosas referências às águas subterrâneas, nascentes e poços.

Todavia, a utilização dessas águas precedeu em muito a compreensão de sua origem, ocorrência e movimento. Das obras dos filósofos gregos e romanos para explicar as origens das nascentes e das águas subterrâneas, até o início do século dezenove, com os estudos do engenheiro hidráulico francês Henry Darcy, houveram várias teorias que iam da fantasia a considerações quase corretas. O tratado de Darcy, de 1.856, definiu a relação ora conhecida como Lei de Darcy, que governa o fluxo das águas subterrâneas na maioria das formações aluvionais e sedimentares. Nesse século, muito do progresso da hidrologia de águas subterrâneas se deve ao "U.S. Geological Survey".

As águas subterrâneas são uma fonte importante de abastecimento de água em todo o mundo. Seu emprego em indústrias, na irrigação, abastecimento urbano e residências rurais continua a crescer, e as indicações são de que essa tendência deverá continuar, notadamente em regiões áridas e semi-áridas onde as águas de superfície se constituem num recurso escasso.

Para a compreensão da origem e ocorrência das águas subterrâneas torna-se necessária uma visualização dessa porção dentro do sistema circulatório de água da Terra, conhecido como ciclo hidrológico. A Figura 1.1 ilustra esquematicamente esse ciclo.

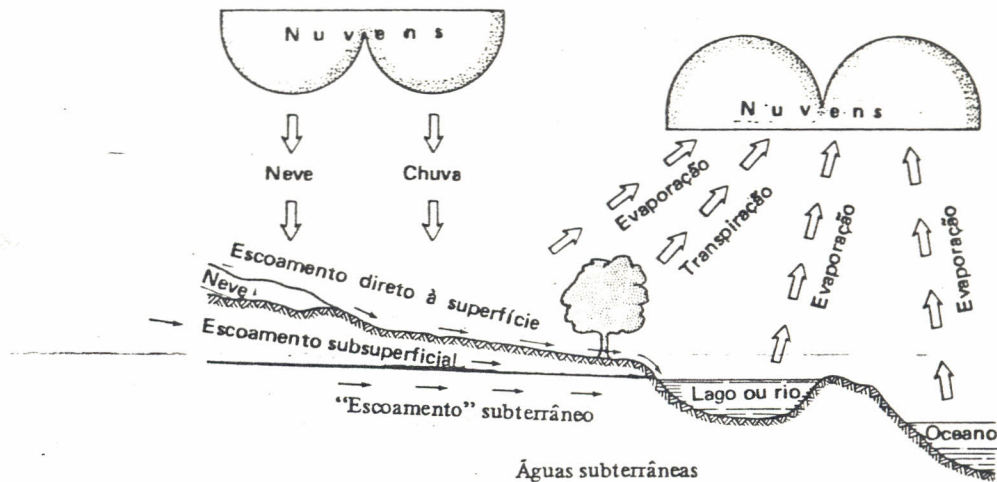


Fig. 1.1 – Representação esquemática do ciclo hidrológico

A principal fonte de águas subterrâneas é a precipitação, podendo a água dirigir-se diretamente através do solo até juntar-se às águas subterrâneas ou cair diretamente sobre as águas superficiais, e em seguida, percolar dos álveos fluviais para o subsolo. Deve-se notar que as águas subterrâneas constituem o destino menos prioritário das águas da precipitação. Interceptação, armazenamento nas depressões e umidade do solo ocorrem antes que volumes aprevisíveis de água possam percolar até os aquíferos. Por ser dependente das precipitações o processo de reabastecimento dos aquíferos é intermitente e irregular. Esse processo é dependente do meio poroso solo-formações geológicas. Por aquíferos deve-se entender todas as formações geológicas que contêm e transmitem águas subterrâneas.

A capacidade de uma formação geológica para reter água é medida pela porosidade, ou relação entre o volume dos poros e o volume total. Os poros variam de tamanho desde aberturas submicroscópicas em argilas, a grandes cavernas e túneis em calcários

e lava.

## 1.2. Distribuição vertical das águas subterrâneas

A ocorrência de águas subterrâneas pode ser dividida em zonas de saturação e aeração. Na zona de saturação todos os interstícios estão preenchidos com água sob pressão hidrostática. A zona de aeração consiste de interstícios parcialmente ocupados por água e parcialmente por ar. Na maioria das massas terrestres uma única zona de aeração sobrepõe-se a uma única zona de saturação que se estende para cima até à superfície. A zona saturada é limitada no topo, ou por uma superfície limítrofe de saturação ou por estratos impermeáveis sobrejacentes, e estende-se para baixo até estratos impermeáveis subjacentes tais como leito de argila ou rochas. Na ausência de estratos sobrejacentes, a superfície superior da zona de saturação é o nível d'água ou superfície freática. Essa é definida como a superfície de pressão atmosférica e seria revelada pelo nível no qual permanecesse a água em um poço que penetrasse o aquífero. Na verdade a saturação se estende ligeiramente acima do nível d'água, devido à atração capilar. Entretanto a água é aí presa sob uma pressão menor que a atmosférica.

A água que ocorre na zona de saturação é comumente denominada de água subterrânea, simplesmente. Essa seria água do lençol freático.

Um outro tipo de ocorrência de água subterrânea se refere aos aquíferos artesianos. Esses aquíferos são confinados por camadas de baixa permeabilidade se assemelhando a condutos forçados. Um poço atravessando a camada impermeável confinante se assemelharia a um piezometro ligado a um conduto e a água se elevaria no poço até o nível da pressão estática local (carga artesiana). Se a pressão for suficiente para elevar a água acima da superfície do solo ter-se-ia um poço surgente. A superfície definida pelos níveis da água em diversos poços artesianos é a su

perfície piezométrica que é o equivalente artesiano do lençol freático. A Figura 1.2 ilustra essas situações.

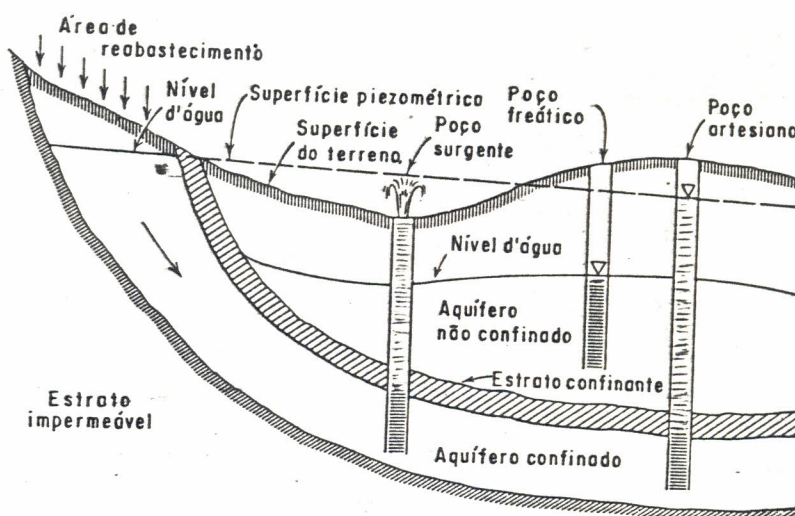


Fig. 1.2— Aquíferos confinados e não confinados

A forma da superfície piezométrica pode ser visualizada praticamente da mesma maneira que a linha piezométrica de uma tubulação. Se não houver escoamento através de um aquífero a superfície piezométrica será horizontal. A medida que ocorra descarga, e esta aumente, a superfície se inclinará mais na direção do ponto de descarga. A declividade será mais acentuada em zonas de baixa permeabilidade, e relativamente fraca onde a permeabilidade for grande. Devido às baixas velocidades do escoamento das águas subterrâneas, a energia ou altura cinética, é desprezível, e as pequenas variações na seção transversal do aquífero não influenciam os níveis artesianos.

Quando se retira água de um poço artesiano, haverá uma depressão da superfície piezométrica junto ao poço. Esse decréscimo de pressão provoca a saída de uma certa quantidade de água e adensamento do aquífero. As pressões em torno do poço diminuem e fazem aumentar o escoamento em direção ao mesmo, e, transcorrido o tempo suficiente para isso, esse aumento de vazão provoca um abaixamento do lençol freático na área de recarga. Nos aquíferos muito extensos, esse tempo pode ser medido em anos.

Os aquíferos artesianos geralmente tem uma área de recarga

relativamente pequena se comparada com os aquíferos freáticos, e tem também menor vazão. A importância econômica dos aquíferos artesianos reside no fato de que eles transmitem água a distâncias consideráveis, e a elevam acima do nível da camada aquífera, reduzindo assim os custos de bombeamento em muitos casos.

### 1.3. Descarga das Águas Subterrâneas

Havendo excesso de água relativamente a capacidade local dos aquíferos, haverá descarga por evapo-transpiração ou pela superfície. Quando a franja capilar alcança o sistema radicular da vegetação, estabelece-se uma via que possibilita a transpiração direta para a atmosfera. Algumas plantas do deserto possuem sistemas radiculares que se aprofundam por mais de 9 m. procurando atingir a água do sub-solo. Se a franja capilar se aproximar da superfície do solo, maiores quantidades de água poderão se evaporar diretamente do solo.

Se a superfície freática ou um aquífero artesianos interceptam a superfície do terreno, haverá descarga de água em forma de escoamento à superfície. Se a vazão for pequena ou se o escoamento for espraiado por uma grande área, pode ser que ocorra também um afloramento difuso e a água apenas molhará o terreno do qual se evaporará. Esse tipo de afloramento de água ao longo das margens dos rios e dos lagos pode, entretanto, avolumar-se bastante e constitui, quase sempre, a principal fonte de alimentação dos cursos de água durante a estiagem. Quando ocorre uma grande descarga de um aquífero, concentrada em uma pequena área, tem-se uma fonte ou nascente.

A Figura 1.3, apresenta algumas das muitas condições nas quais podem surgir as fontes. Grandes fontes, em geral, relacionam-se com fendas e cavernas nas rochas. As fontes provenientes de aquíferos de grande extensão e baixa permeabilidade, ordinariamente, apresentam vazão aproximadamente constante. As fontes que se originam de pequenos aquíferos ou de aquíferos de eleva-

da permeabilidade tem vazão muito variável e podem até secar durante as estiagens.

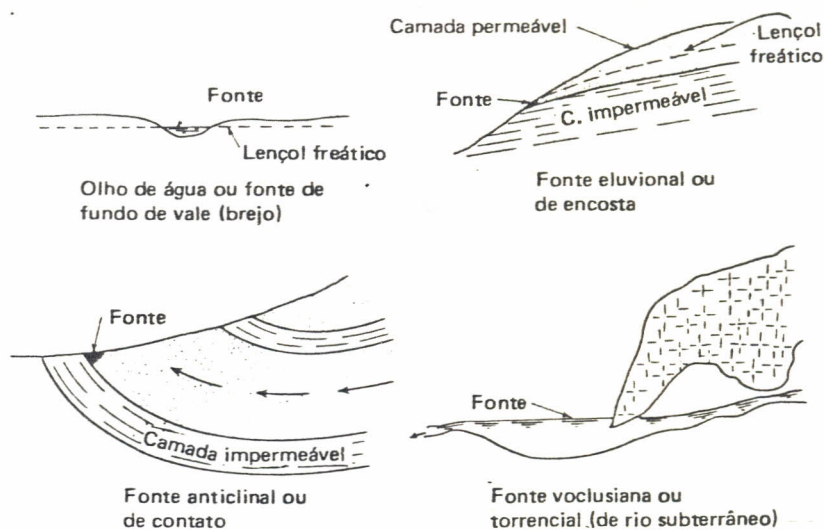


Fig.1.3 – Tipos característicos de fontes

#### 1.4. Captação da Água Subterrânea

##### 1.4.1. Tipos de Captação

##### 1.4.1.1. Captação das Fontes

Embora na maioria das vezes a água subterrânea só seja convenientemente aproveitada mediante a construção de obras mais ou menos dispendiosas, pode ela, em alguns casos, ser facilmente captada das fontes, nascentes ou mananciais. Estes nada mais são do que o afloramento ou a manifestação do lençol na superfície do solo, especialmente em uma encosta ou depressão do terreno.

O trabalho principal consiste, geralmente, em se construir um pequeno reservatório, câmara, ou caixa de captação, onde a água é coletada e protegida contra contaminações. Para aumentar o rendimento do lençol, a caixa de captação é, às vezes, cons-

truída em pequenas escavações ou poços muitos rasos. Daí é a água canalizada para onde vai ser usada, ou aproveitada "in loco". No primeiro caso torna-se, geralmente, necessário o seu bombeamento.

Quando as fontes brotam numa encosta, sua captação se resume na construção de um depósito, geralmente de concreto, de alvenaria de pedra ou de alvenaria de tijolo requeimado rejuntado com cimento, onde as águas são coletadas. Se a captação se faz ao ar livre, as águas podem carregar-se de pó e detritos levados pelo vento e podem, também, ser contaminadas por restos vegetais e animais. Para que isso seja evitado e para que a água conserve sua frescura e pureza, é conveniente que as caixas de captação sejam cobertas e que a água seja recolhida antes de ficar exposta à luz. Dessa forma deve ser conduzida até o reservatório de distribuição.

A Fig. 1.4 mostra uma caixa de captação totalmente coberta. A tomada de água pode ser feita como indica a figura ou por uma bomba colocada em cima do reservatório. Caso a água contenha areia fina em suspensão, convém aumentar as dimensões da câmara, a fim de que haja uma melhor sedimentação.

A Fig. 1.5 mostra a captação de uma fonte, feita num nível mais elevado, com o auxílio de drenos cobertos. O comprimento destes depende da largura do lençol e da vazão desejada. A instalação do ladrão na caixa pode ser feita como na fig. 1.4.

Às vezes, para se aumentar a vazão do manancial, introduzem-se, no fundo da escavação, pedaços de tubos que são enterrados até o lençol artesiano. As águas deste lençol podem brotar e unir com a água freática, aumentando a vazão (fig. 1.6).

#### 1.4.1.2. Captação dos Lençóis Freáticos

##### TRINCHEIRAS

Usadas quando se necessita de uma grande vazão e quando o lençol freático está a uma pequena profundidade e, preferível-



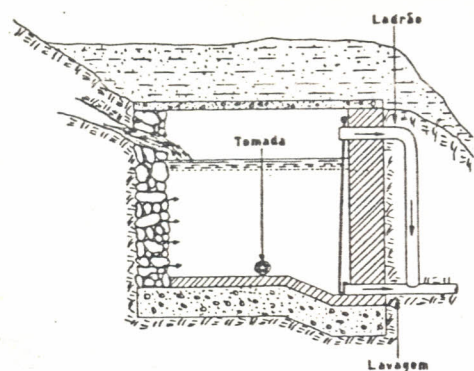


Fig. 1.4 — Captação de uma fonte (caixa coberta)

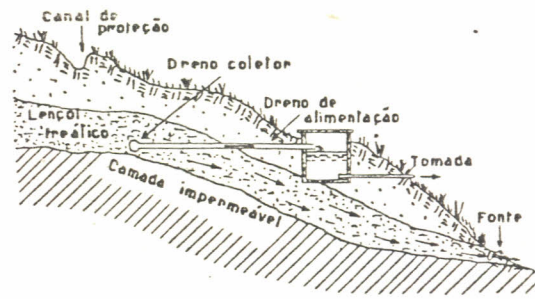


Fig. 1.5 — Captação de uma fonte em um nível mais elevado, com o auxílio de drenos cobertos. A instalação do ladrão pode ser feita como na fig. anterior

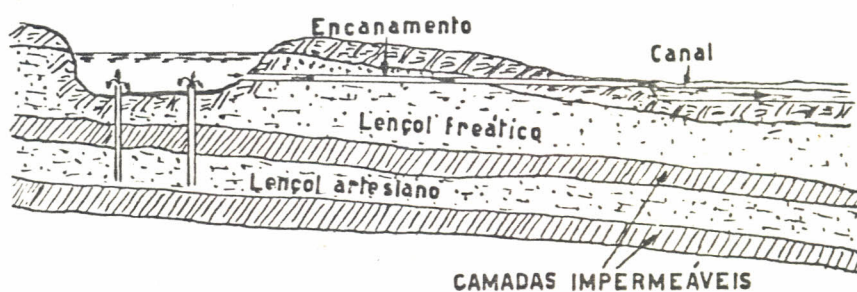


Fig. 1.6 -- Captação de um lençol freático (sistema plano)

mente, quando corre em uma determinada direção.

As trincheiras são escavadas numa posição normal à direção da corrente até penetrar na camada permeável por onde corre o lençol. Devem ter uma declividade no sentido do comprimento a fim de que possa a água ser recolhida em uma das extremidades, de maior dimensão, onde a água é acumulada e pode ser bombeada.

Para maiores vazões, e quando for possível, deve a trincheira atravessar toda a camada permeável até encontrar a impermeável, sobre a qual repousa o lençol.

Quando se tratar de lençóis muito superficiais, devido à pe

quena camada de infiltração (da superfície do terreno ao nível do lençol), deve-se evitar a contaminação do terreno, para não se ter uma água poluída no lençol. O mesmo cuidado deve ser observado na captação das fontes e dos mananciais.

#### GALERIAS FILTRANTES

Usadas nas mesmas condições das trincheiras e quando se quer cobrir estas.

Para maior solidez e maior vazão, devem assentar na camada impermeável sobre a qual repousa o lençol.

As galerias filtrantes, bem assim as trincheiras, podem ser também localizadas ao longo e a certa distância de um rio, recebendo água deste, após uma filtração natural através do perfil do solo (fig. 1.7).

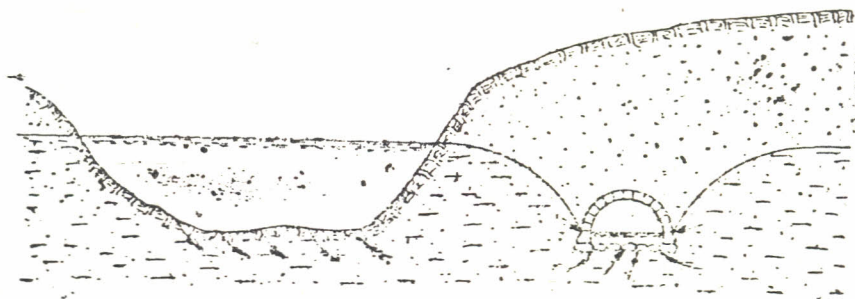


Fig. 1.7— Filtração natural para uma galeria filtrante

As galerias são construídas, geralmente, de concreto ou de alvenaria de pedra, tendo perfurações laterais ou no fundo, segundo as características do lençol, para que a água possa penetrar em seu interior.

A grande desvantagem das galerias filtrantes é o seu excessivo custo, pois, na maioria dos casos, o mesmo volume de água

pode ser captado por meio de poços bem localizados. Foram muito usadas antigamente, quando a técnica da perfuração de poços e a maquinaria usada não eram bem conhecidas e disponíveis. Só são usadas hoje em casos muito especiais.

#### POÇOS RASOS

Usados, preferivelmente e de modo geral, na captação do lençol freático.

#### Poços rasos cavados

Os poços cavados, também chamados de poços ordinários, poços comuns, poços domésticos, poços rasos, e, erradamente, cisternas, são de grande diâmetro (geralmente 1 e 2 m, podendo ser bem maiores) e de pequena profundidade (na maioria dos casos entre 3 e 20 m). Dão uma vazão geralmente pequena, sendo apenas suficiente para o uso doméstico e raramente para o uso industrial e para a irrigação.

Como será visto na parte referente à Hidráulica dos Poços, deve-se, antes de escavar um novo poço próximo a um já existente, verificar se aquele não vai interferir com a zona de influência ou cone de depressão deste. Caso isto aconteça, o novo poço pode fazer abaixar a vazão do já existente, dando os dois vazão pouco superior a somente um, conforme o grau de interferência.

#### Poços rasos cravados

Conhecidos também pelas denominações de poços fincados, poços americanos, poços Northon, poços instantâneos e poços abissínicos (devido terem sido usados pelos ingleses numa campanha na Abissínia). São poços tubulares que penetram somente até o lençol freático. São poços rasos (geralmente menos de 4 metros) e de pequeno diâmetro (geralmente de 2 polegadas), dada a difi-

culdade de cravar-se tubos de maior diâmetro. Seu uso é restrito a solos leves para que a penetração seja praticável. Como ordinariamente são bombeados por sucção, o lençol de água não pode estar a profundidade maior que 6 a 7 metros (fig. 1.8).

Os poços cravados são úteis no caso de uma captação temporária de água, como em acampamentos, ou mesmo permanente, quando se trata de pequenos suprimentos (residências modestas). São também usados no fundo de poços ordinários, com o fim de alcançar maiores profundidades dentro do lençol e de ter possibilidade de atravessar ou alcançar um extrato mais permeável, que drenaria a água para o poço, aumentando muito sua vazão. Podem, finalmente, para maiores suprimentos, serem usados vários poços que funcionam em bateria com uma única bomba ou com várias bombas individuais.

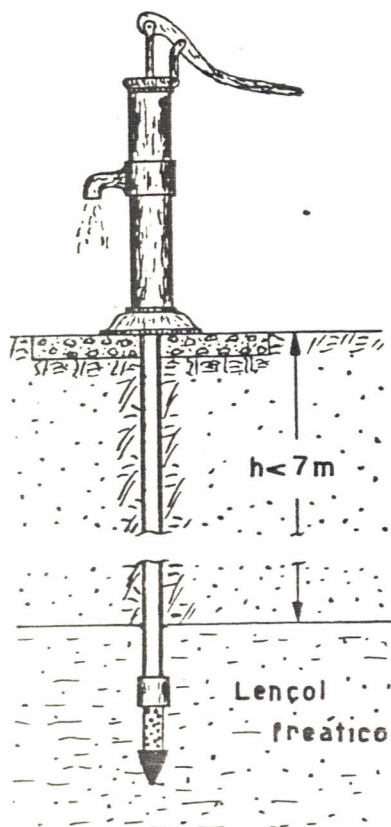


Fig. 1.8 — Poço cravado

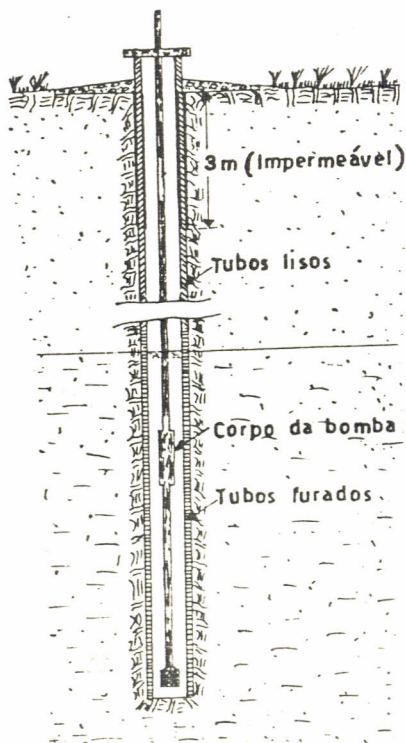


Fig. 1.9 — Poço furado com trado mostrando o seu aproveitamento

## Poços rasos furados

São poços furados manualmente por meio de trados de 4 a 12 polegadas de diâmetro e revestidos com manilhas ou tubos melhores, dentro dos quais a canalização de sucção ou mesmo uma bomba de pistão tem livre acesso (fig. 1.9).

São construídos com muita rapidez, muita simplicidade e a baixo custo, mesmo para profundidades relativamente grandes (20 metros e, as vezes mais) podendo dar boa vazão quando o lençol for rico.

A desvantagem que apresentam em relação aos poços cavados é o fato de não possuírem como que um reservatório subterrâneo como estes últimos. Assim, para lençóis de pouca produtividade, teria que ser usada uma bomba de muito pequena vazão, o que, na maioria dos casos, não é aconselhável. Nos poços cavados, há sempre um bom volume acumulado (geralmente mais de 1.000 litros) que garante um bom suprimento a uma bomba. Esgotado o poço, fica ele o resto do tempo, especialmente à noite, refazendo-se, para depois, permitir novamente uma boa extração de água.

O inconveniente apontado acima pode ser atenuado furando-se o poço bem abaixo do nível do lençol. Como a vazão é aproximadamente proporcional a esta profundidade, ela vai aumentar, atenuando o efeito da falta do reservatório e a pequena diminuição da vazão com o pequeno diâmetro do poço (veja Hidráulica dos Poços). Isto pode ser feito em vista de, ao contrário da escavação de um poço de grande diâmetro, que quando se atinge o nível do lençol torna-se difícil conseguir aprofundá-lo mais que 1 a 1,5 m abaixo deste, a perfuração do poço com trado permite, sem dificuldade, aprofundá-lo bastante (comumente 4 e mais metros). Esta coluna, além de aumentar a vazão, como foi visto, concorre para se ter uma pequena acumulação. Exemplo: um tubo de 10 polegadas com 4 metros de coluna dá uma acumulação de 196 litros; de 8 polegadas e 4 metros, dá 125 litros, etc.

### 1.4.1.3. Captação dos Lençóis Artesianos

#### POÇOS PROFUNDOS OU ARTESIANOS

(Também chamados de poços tubulares ou perfurados)

São poços de pequenos diâmetros (ordinariamente de 6 a 10 polegadas) e perfurados geralmente a grandes profundidades (passando pelo lençol freático se houver) até alcançar um ou vários lençóis artesianos. Podem dar grandes vazões, suficientes para o consumo de bairros residenciais, para o uso em indústrias e até mesmo para a irrigação. Esses poços podem ser perfurados em qualquer tipo de material ou de rocha. Há máquinas perfuratri-  
zes especiais que quebram e retiram o material e revestem a per-  
furação com tubulações próprias.

A designação - poço artesiano - só deveria ser usada no caso de a água jorrar pela sua própria pressão, reservando-se a denominação de semi-artesianos aos que necessitam de bombeamento. Comumente, porém, dá-se o primeiro nome também para estes últimos que, aliás, constituem a maioria dos poços.

#### Exemplos de poços artesianos

Várias cidades brasileiras são, em parte ou totalmente, surtidas de água por esses tipos de poços. Há órgãos do governo e firmas particulares, em todos os Estados, especializados na per-  
furação e no aproveitamento dos poços artesianos.

No Nordeste Brasileiro, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas tem perfurado, desde 1910, centenas de poços, dando uma média de cerca de 20% de perfurações em que nenhum lençol é atingido. Nos depósitos costeiros, constituídos de areia, e alguma argila, ao longo da costa marítima do País, há uma faixa de alguns quilômetros de largura, e espessura variando entre 50 e 60 metros, rica em águas subterrâneas.

O arenito e os terrenos de aluviões dos vales dos rios têm, também, dado poços com muita abundância de água.

Em São Paulo e outros Estados brasileiros, segundo dados estatísticos da firma "Cia. T. Janer", que opera no ramo de perfurações, a média de seus poços apresentou os seguintes resultados:

Vazão acima da expectativa .....	30%
Vazão de acordo com a expectativa .....	42%
Vazão abaixo da expectativa .....	17%
Poços secos (vazão desprezível) .....	11%

## 1.5. Construção de Poços

### 1.5.1. Poços cavados

Os poços domésticos são escavados manualmente com o uso de enxadões de cabos curtos, pás, picaretas etc, podendo, em casos especiais, ser escavados mecanicamente. O material é retirado com o auxílio de um tripé em cima do poço, uma roldana e uma lata de querosene que é cheia no fundo deste e puxada por uma corda. Ao atingir o lençol, deve-se ir revestindo-o com manilhões de concreto armado, à medida que o material é extraído, para evitar o desmoronamento da parede do poço nessa profundidade. Deve-se escavar o máximo ordinariamente possível dentro do lençol (pelo menos mais de 1 metro), a fim de se conseguir maiores vazões, maior reserva de acumulação e menor risco de ficar sem água quando, nos períodos secos do ano, o lençol descer de nível. Aliás, a época ideal de se escavar um poço é justamente no fim do período seco ou princípio do período chuvoso do ano, quando o nível da água subterrânea está mais baixo.

Entre um manilhão e outro deve haver espaço suficiente para que a água possa passar do lençol para o poço, além da que entra normalmente pelo fundo.

Para aumentar mais a vazão, pode-se ainda recorrer ao uso de tubos providos de pequenos furos, fincados no fundo do poço. Como foi visto, os tubos, além de, normalmente, drenar o lençol a maiores profundidades, teriam possibilidade de atravessar ou

alcançar extratos mais permeáveis, que drenariam a água para o poço, aumentando de muito sua vazão (ver Construção de Poços Cravados).

Os poços podem ser totalmente revestidos ou parcialmente, isto é, somente na profundidade do lençol. Para um uso permanente, devem ser eles totalmente revestidos por razões óbvias, inclusive sua solidez e durabilidade.

#### LOCALIZAÇÃO

Deve-se, antes de iniciar a escavação de um poço, atentar na possibilidade de o lençol ser contaminado ou de o poço vir a sê-lo, após sua construção.

Infelizmente, é comum no meio rural, a construção de poços nas proximidades de fossas higiênicas, pocilgas, córregos etc. Esses, mais cedo ou mais tarde, pela infiltração através das partículas porosas, de canais de formigas, de fendas do solo etc., acabam contaminando a água do poço.

Nas cidades, é comum a abertura de poços na proximidade da rede de esgoto domiciliar, constituída de tubos de grês cerâmico (manilhas). Como estes comumente dão vazamento (através das juntas e dos próprios poros das manilhas), especialmente quando há um entupimento na rede, a água do poço virá, também, a ser contaminada.

Em ambos os casos, aconselha-se a construir o poço pelo menos a cerca de 20 a 30 metros de distância de qualquer possível fonte de contaminação. No caso de rede de esgoto, quando isso não for possível, deve-se substituir as manilhas da rede por tubos de ferro bem rejuntados, ou outros tubos impermeáveis.

#### REVESTIMENTO

Varia de localidade para localidade, dependendo das características do subsolo, da profundidade do lençol e da finalidade do poço.

Um dos sistemas consiste em adquirir ou prefabricar mani-



lhões de concreto armado (feito isso pelo próprio pessoal prático) e ir revestindo todo o poço à medida que for ele sendo escavado. O material é extraído por baixo de um manilhão, obrigando o a descer; outro manilhão é colocado por cima do primeiro; continuando a escavação, os dois vão descendo, exigindo a colocação em cima, de um terceiro, e assim por diante. Esse sistema é muito recomendável para subsolos pouco consistentes.

Outro sistema, usado quando o subsolo é firme, é o de se escavar, sem revestimento prévio, até o lençol. Aí é descido um manilhão para revestir o poço a medida que for sendo escavado o lençol. Outros manilhões podem ser adicionados, até ficar o lençol revestido por esse material. Concluída a perfuração, reveste-se a parte superior com alvenaria de tijolos requemados (fig. 1.10).

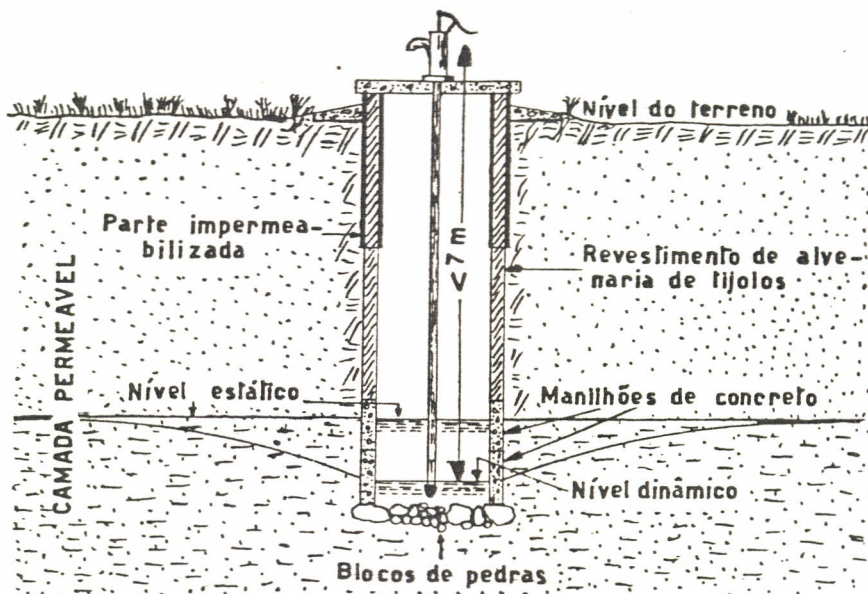


Fig.1.10 — Poço cavado (poço raso)

Às vezes, ao invés de manilhões, é pré-fabricado um anel de concreto armado que vai descendo no lençol e, em cima, já vai sendo levantada a parede de alvenaria de tijolos. Esta vai revestindo o lençol e quando a profundidade do poço é atingida, é ela levantada até revestir todo o poço.

A parte superior do revestimento deve ser impermeabilizada

(pelo menos nos 3 últimos metros) e deve terminar acima do nível do terreno, a fim de se evitar contaminações diretas ou indiretas de águas superficiais. A cobertura deve ser estanque, com um orifício onde a tubulação da bomba é assentada, e com um alçapão, que funciona como poço de vista (fig. 1.11).

#### APROVEITAMENTO

A água pode ser extraída de um poço de várias maneiras, inclusive com o uso de um balde comum e uma corda, prática, aliás, condenada pela possibilidade de sua contaminação. O processo mais usado é o seu bombeamento, usando-se para isso, dois tipos de bombas: bombas centrífugas e bombas de pistão.

Na escolha de um tipo ou outro, deve-se observar que, dos tamanhos de bombas comumente usados, as centrífugas são funcionam bem com uma altura de aspiração menor de 5 m e as de pistão podem funcionar bem, até uma aspiração de 7 m. Assim, para poços de maior profundidade, deve-se: ao usar uma bomba centrífuga (geralmente acoplada com motor elétrico) colocá-la dentro do poço de modo a reduzir a altura de aspiração a menos de 5, ou, preferivelmente, a menos de 4 m (fig. 1.11). Essa altura deve se referir ao nível dinâmico do lençol, isto é, ao nível (mais baixo) que a água atinge quando a bomba está em pleno funcionamento.

Esse tipo de instalação é bastante usado, apresentando, todavia, alguns inconvenientes, como a dificuldade de reparos e a falta de ventilação e excesso de umidade no conjunto, podendo ocasionar o umedecimento do enrolamento do motor elétrico e sua queima, após algum tempo de uso. Para se instalar o motor por cima do poço e a bomba dentro deste, haveria o grande inconveniente da transmissão do movimento por meio de polias e correias, o que normalmente, não é recomendado.

#### 1.5.2. Poços Cravados

Como o próprio nome indica, são fincados ou cravados peda-

ços de tubos, geralmente de duas polegadas de diâmetro, até o lençol freático. O pedaço inicial deve ser ponteagudo para penetrar com facilidade e deve ser provido de pequenos furos por onde a água entrará na tubulação. Aliás, para maior vazão, toda a parte mergulhada no lençol deve ser provida de furos laterais. Às vezes, essa parte inicial é constituída de uma peça especial, resistente, que não só é ponteaguda, como, também, apresenta o diâmetro acima da ponta um pouco maior que o diâmetro do resto da tubulação, a fim de possibilitar a descida mais fácil desta. Para facilidade nas batidas dos tubos, deve-se usar pedaços de menos de 1,20 m que vão sendo acoplados à medida que vão descendo. As batidas, que devem ser feitas com cuidado a fim de não quebrar a tubulação ou prejudicar as juntas, podem ser feitas manualmente, com o uso de macetes, ou mecânicamente, com o emprego de equipamento especial.

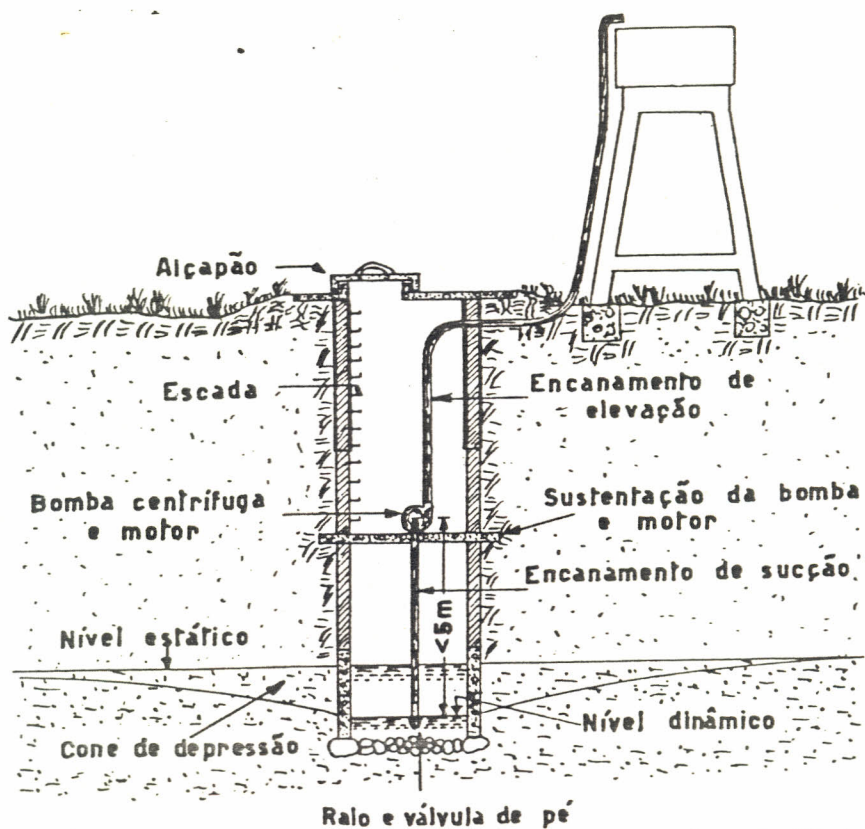


Fig. 1.11— Aproveitamento de um poço de mais de 5 m de profundidade (bomba centrífuga)

A Fig. 1.8 dá o esquema de um poço fincado, após sua construção, sendo que, em sua localização, os mesmos cuidados considerados para os poços cavados, devem ser observados.

### 1.5.3. Poços Furados

São usados trados comuns em sua construção. Após a perfuração, são revestidos com manilhas ou, preferivelmente, com tubos de ferro rosqueados (fig. 1.9).

Hoje já se dispõe de trados acionados mecanicamente, à semelhança das brocas acopladas à tomada de força de tratores, com elevada eficiência.

É conveniente, além do trado, dispor-se de uma sonda (pedaço de cano com uma válvula de pé) para os trabalhos em certos tipos de solo.

O diâmetro interno do revestimento deve ser tal a permitir a fácil passagem do encanamento de sucção ou, em se tratando de profundidades maiores que 7 m, do corpo de uma bomba de pistão. Dentro do lençol, os tubos devem possuir pequenos furos para facilitar a penetração da água.

### 1.5.4. Poços Artesianos

Exigem o emprego de técnica e mão-de-obra especializada e de equipamento especial.

Há vários métodos de perfuração, indo desde o emprego de trados de uso manual, hoje praticamente em desuso, até modernas perfuratrizes ajudadas por jatos de água com pressão. O mais comum, entre nós, é o uso de máquinas perfuratrizes mecânicas (denominadas sondas) que funcionam por percussão ou por rotação.

A máquina do 1º tipo dá o movimento de percussão em uma pesada broca que vai quebrando o material. Este é retirado por meio de uma sonda (pedaço de tubo especial, provido de válvula de pé), indo a perfuração sendo revestida por tubos de aço. Há

brocas especiais para camadas de areia, camadas de argila e para rochas. Para a retirada do material, enquanto o poço ainda estiver seco, joga-se um pouco de água para facilitar o trabalho da sonda.

Nas sondas rotativas, o material é cortado pela rotação de uma broca especial e retirado, em forma de cilindro, pela mesma broca. O material que vai sendo desagregado no corte (pequenas partículas) é retirado por meio de um jato de água contínuo e com pressão, fornecido por uma bomba que acompanha o conjunto. Esta água é retida em pequeno poço ou tanque para que o material pesado se deposite e seja ela usada novamente, em circulação.

Tanto em um como em outro caso, a perfuração vai sendo revestida, enquanto o material não for bastante firme para conservar o furo. O revestimento termina, geralmente, quando a rocha matriz é atingida.

Na perfuração, pode-se parar no primeiro lençol artesiano encontrado, se este, feito a prova de vazão, for suficiente para o fornecimento desejado. Caso contrário, prossegue-se o trabalho, para tentar conseguir novos lençóis. Não atingindo a perfuração nenhum lençol ou atingindo lençóis muito pobres, passa-se a perfurar em outro local. Há técnicos que, dispondo de bons equipamentos, preferem, em dadas circunstâncias, insistir no furo até centenas de metros de profundidade, na esperança de aí encontrar ricos lençóis. Outros preferem desistir do trabalho quando a perfuração atinge uma meia centena de metros para tentar encontrar o suprimento desejado em uma outra perfuração. Essa variabilidade é justificada pela formação geológica do lugar, pelo tipo de equipamento disponível, pela conveniência do aproveitamento do poço e pela preferência de cada técnico.

Terminada a perfuração e feita a prova de vazão, preferivelmente variando esta e determinando-se os respectivos níveis estáticos e dinâmicos da água, o poço é preparado para entrar em

funcionamento. Usa-se, geralmente, revesti-lo todo com tubos de menor diâmetro, recuperando-se os de aço empregados na construção. Os 2 a 3 primeiros tubos de revestimento (12 a 18 m) devem ser inteiriços para evitar a contaminação com a água superficial ou dos lençóis freáticos muito rasos. Daí para baixo, devem ser providos de inúmeros pequenos furos para facilitar a passagem da água, não só do lençol ou lençóis artesianos como, em muitos casos, também do lençol freático. O espaço entre o tubo definitivo e o recuperado deve ser cheio com material filtrante, como o cascalho miúdo, com excessão dos últimos metros (tubos inteiriços), que devem ser cheios com argila, para evitar a contaminação da água. Na superfície do terreno deve ser construída uma pequena plataforma circular de concreto bem soldada ao tubo, para evitar a infiltração da água superficial junto à parede deste.

O preparo de um poço deve também incluir sempre a formação de filtros de cascalho nos lençóis que estão em contato com suas paredes.

Deve-se lembrar que, sendo radial o fluxo da água do lençol em direção ao poço, a velocidade de escoamento cresce nessa direção, podendo causar, nas proximidades do poço, deslocamento de pequenas partículas e obstrução do lençol (diminuição da vazão), desmoronamento do material (águas turvas) e mesmo o colapso do poço, dentro de certo tempo.

Por isso é conveniente, por meio de práticas e equipamentos especiais, como o uso de bombas e jatos de ar mais potentes, retirar todo esse material desmoronável do lençol ou dos lençóis nas proximidades do poço, substituindo a cavidade ou cavidades formadas por filtros de cascalho, de tamanho adequado. Esta prática permite um acréscimo da vazão e garante a extração de uma água sempre limpa e uma duração muito maior do poço.

## 1.6. Vazão de um Poço

É conveniente, antes de seu aproveitamento, determinar o regime de um poço, isto é, a vazão que ele poderá dar continuamente. Isso não só indicará as disponibilidades do suprimento, como, também, fornecerá dados para a escolha da máquina elevadora de água.

### 1.6.1. Poços Cavados

O modo mais simples consiste em extrair a água por um processo qualquer, até que o seu nível, no interior do poço, desça de uma altura  $a$ ; determina-se, em seguida, o tempo  $t$  gasto para o nível subir novamente até a altura primitiva. Chamando de  $d$  o diâmetro do poço,  $S$  sua seção e de  $Q$  a vazão, tem-se:

$$Q = \frac{S a}{t}, \text{ sendo } S = \frac{\pi d^2}{4}$$

Deve-se ter o cuidado, nessa determinação, de não só extrair a água do poço, como, também, do cone de depressão, pois, não sendo este esgotado, o resultado da medição será maior que o real (fig. 1.12).

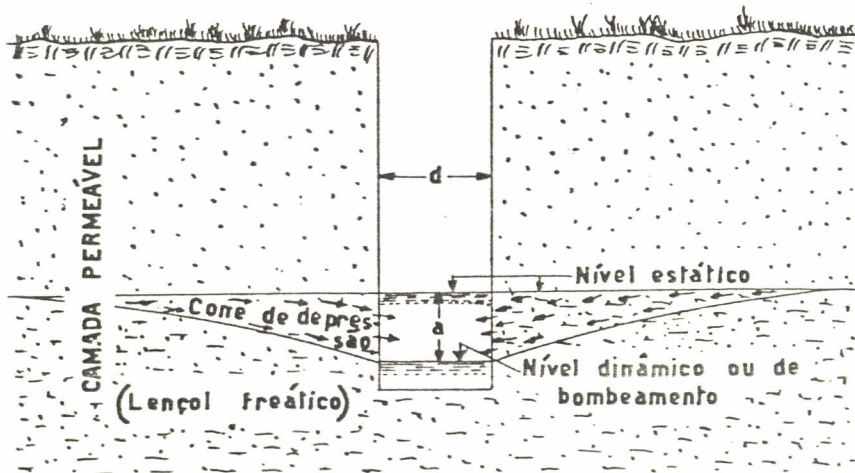


Fig. 1.12 — Determinação da vazão de um poço ordinário

Faz-se isso continuando a retirada de água por bastante tempo, até esgotar o cone de depressão e ficar mantido o nível dinâmico. Aí a água fluirá para o poço com a capacidade normal que o lençol poderá alimentá-lo.

Outro processo, também simples, é o de se empregar uma bomba com capacidade superior à do poço. Estrai-se água durante bastante tempo até atingir uma vazão constante que poderá ser medida pelo processo direto, do vertedor etc. Vindo a bomba a esgotar o poço, pode-se ligá-la de espaço em espaço de tempo, medindo-se os volumes extraídos e os tempos gastos no bombeamento. Dividindo-se a média dos primeiros pela dos segundos, tem-se, também, a vazão do poço.

#### 1.6.2. Poços Cravados e Furados

Usa-se, geralmente, o último processo visto anteriormente.

#### 1.6.3. Poços Artesianos

Os poços artesianos poderão, também, ter o regime conhecido pelo emprego de uma bomba (geralmente compressor) com capacidade superior à do poço, conforme o último processo descrito acima. Esse é, aliás, o processo mais usado na determinação da vazão dos poços perfurados.

Convém observar que a prova de vazão obtida inicialmente durante algumas horas (geralmente 12 a 24 horas) de funcionamento da bomba, não implica na afirmativa de que esta seja constante. Está provado que, invariavelmente, a vazão obtida nos primeiros dias de teste do poço é de 10 a 30% mais elevada que a vazão, sob as mesmas condições, 30 dias mais tarde. Além do mais, a vazão pode variar segundo o clima (regime de chuvas, temperatura etc.) da região. Assim, é de toda conveniência testar o poço durante algumas semanas e, se possível, em épocas diferentes do ano. É de conveniência, também, determinar o nível dinâmico



ou de bombeamento do poço, em cada teste.

Observações de técnicos nacionais, relativamente a inúmeros poços perfurados nos Estados de São Paulo e alguns em Minas, mostraram que a tendência da maioria deles é de manter a vazão praticamente inalterada, com um índice de variação, entre a época de estiagem prolongada e a de chuva, de aproximadamente 10%. Acham eles, contudo, que em certos casos, tem havido aumento de vazão com o uso constante do poço e isto porque as fendas do lençol, a medida que vão se limpando, permitem maior escoamento da água.

Quanto à queda de produção, foram verificados casos em poços fora de uso por período superior a 6 meses. Isto pelo entupimento dos filtros, que, aliás, são facilmente desobstruídos com o auxílio de um compressor, voltando o poço a produzir a vazão inicial. Outro fator de queda de vazão e de inutilização de um poço é o relativo a deslizamentos e desabamentos geológicos das camadas do subsolo, coisa que raramente acontece em nosso meio.

### 1.7. Variação do Nível da Água Subterrânea

O nível da água subterrânea no interior dos poços sofre variações que podem ser:

**Variações anuais** - depende do clima da região, principalmente da distribuição das chuvas. Há, geralmente, um atraso na correlação entre os dois fatores, dependendo da procedência das águas e da zona de alimentação dos lençóis. Assim, o nível mínimo ocorre, geralmente, algum tempo após o fim do período de seca e o nível máximo no fim do período de chuva.

**Variações permanentes** - ocasionadas por poços vizinhos que, sendo em grande número e extraindo grandes vazões, podem abaixar o nível da água do lençol.

**Variações de bombeamento** - ocasionadas pela extração de

água do poço ou de poços que interferem com o cone de depressão do primeiro.

### 1.8. Alimentação Artificial dos Lençóis Subterrâneos

O uso cada vez maior das águas subterrâneas pode ocasionar o seu esgotamento. O problema já se apresenta em várias partes do mundo, como nas regiões áridas dos Estados Unidos e em certas partes da Europa, onde as grandes concentrações humanas exigem um suprimento líquido maior do que o fornecido pela alimentação natural dos lençóis. Nestas condições, o homem procura compensar tal esgotamento por meio de aplicação da água na superfície do terreno e sua conseqüente infiltração até os aquíferos subterrâneos.

Os processos usados vão desde os aplicados em conservação dos solos, referentes às águas pluviais, à aplicação da água superficial e da água de desaguamento e esgoto, por meio de inundação de áreas permeáveis, de sulcos profundos, de poços e galerias etc. Procura-se sempre aproveitar a água abundante em certas partes pelo processo de filtração, nos amplos reservatórios subterrâneos.

### 1.9. Hidráulica dos Poços

Dada a importância do suprimento de água de poços para diversas finalidades humanas, não se tem envidado esforços, por parte dos especialistas no assunto, em se expressar, por fórmula matemática com coeficientes experimentais, os elementos de um poço e respectivo lençol e sua provável capacidade.

Como o assunto é muito complexo, e as determinações dos elementos envolvidos são muito difíceis de serem feitas pelos processos normais ao nosso alcance, ficaremos restritos somente à citação das fórmulas e às suas conseqüências práticas.

## 1.9.1. Poços Rasos

(Lençol freático)

Seja, fig. 1.13, um poço ordinário escavado em um lençol freático, cujo nível estático seja aproximadamente horizontal, zona de influência circular, que o suprimento de água seja tal a manter constante o nível do lençol fora da zona de influência

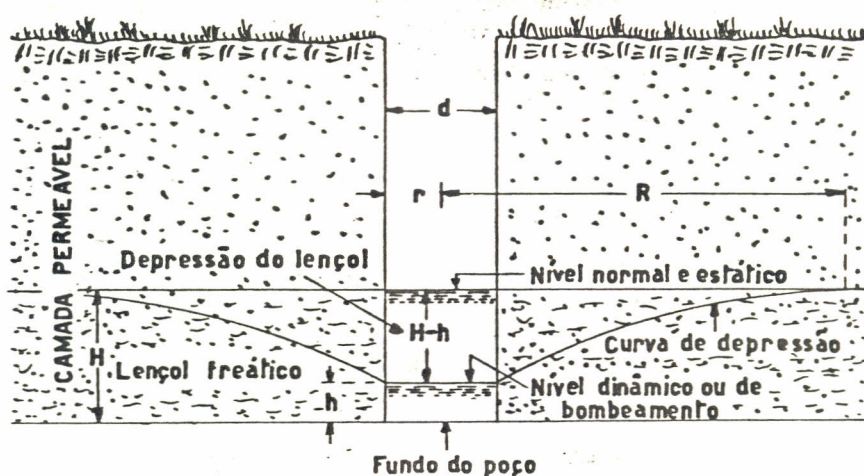


Fig. 1.13 — Hidráulica de um poço raso (lençol freático)

do poço e que o fundo deste se assente sobre uma camada impermeável.

Segundo a fig. 1.13, sejam:

$H$  = profundidade da água no poço, antes do bombeamento.

$h$  = profundidade da água no poço, durante o bombeamento.

$H-h$  = depressão do lençol no poço, devido ao bombeamento.

$R$  = raio do círculo de influência (base do cone de depressão)

$r$  = raio do poço.

Os estudos preliminares do movimento de água subterrânea

feitos por Darcy, em 1856, permitiram a Dupuit, em 1863, estabelecer fórmulas matemáticas, usadas até hoje, para o equacionamento da vazão de um poço. Dupuit considerou, em sua fórmula, encontrar o lençol sob as características da fig. 1.13. Após deduções e cálculos, Dupuit estabeleceu, para as condições do lençol freático:

$$Q = K \frac{(H^2 - h^2)}{\log \frac{R}{r}}$$

onde  $Q$  é a vazão e  $K$  uma constante que depende da textura e da porosidade da formação e da temperatura da água, mais conhecido hoje como "constante de permeabilidade" ou "condutividade hidráulica", sendo seu valor dado geralmente em cm/hora ou m/dia. A determinação de  $K$ , como é fácil de depreender, é demorada e difícil.

#### 1.9.2. Poços Artesianos

Para este tipo de poços, Dupuit chegou à fórmula:

$$Q = 2K e \frac{H - h}{\log \frac{R}{r}}$$

onde  $e$  é a espessura do extrato poroso artesianos (entre duas camadas impermeáveis e sob pressão) (fig. 1.14) e as demais letras tem o mesmo valor da fórmula anterior.

#### 1.10. Consequências Práticas das Fórmulas

1 - A vazão de um poço é proporcional à constante de textura e porosidade  $K$ . Como esta varia consideravelmente com os tipos de formações dos lençóis, a vazão do poço vai depender mais das características destas. Uma formação constituída, por exem-

plo, de areia saibrosa, pode ter um K mil vezes maior que uma constituída de areia muito fina, dando portanto, nas mesmas condições, uma vazão mil vezes maior.

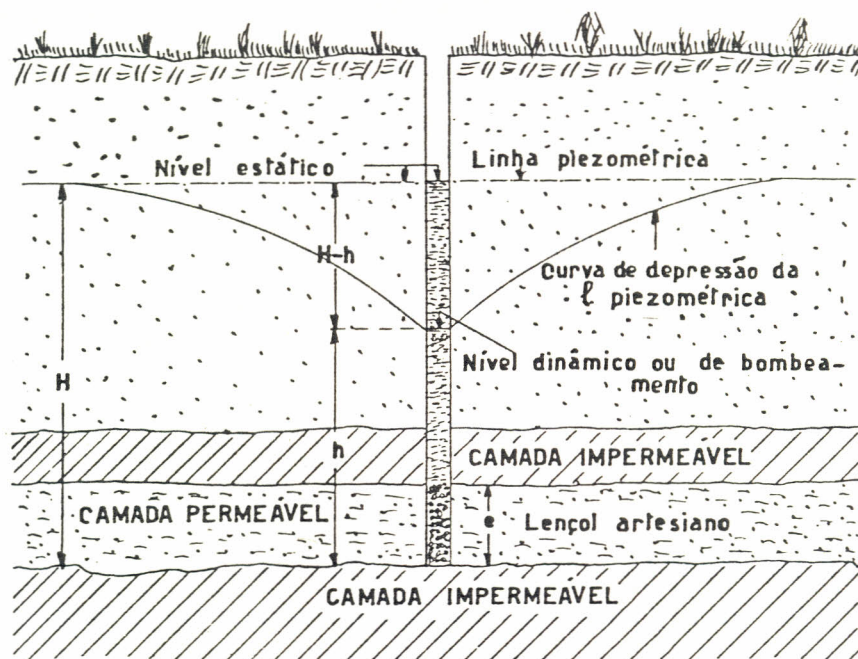


Fig. 1.14 — Hidráulica de um poço artesiano

2 - A vazão de um poço é aproximadamente proporcional à depressão do lençol ( $H-h$ ), isto é, ao abaixamento do nível estático pelo bombeamento (alcançado o nível dinâmico).

Assim, é de toda conveniência construir um poço de modo a poder-se abaixar o nível estático o máximo possível. Isso se consegue, nos poços ordinários, abaixando o fundo do poço, em relação ao nível do lençol, o máximo que se pode conseguir com os recursos normais. No colocar a bomba, o tubo de aspiração de verá ficar bem mergulhado no poço, próximo ao seu fundo.

Além do aumento normal da vazão, o aprofundamento de um poço tem ainda as vantagens de se contar com um maior volume de acumulação e de ser possível alcançar extratos com um K maior, isto é, com uma maior vazão.

Em poços artesianos, também, há vantagens em aprofundar-se a perfuração além do lençol, especialmente se se vai empregar

um compressor na elevação da água, visto este necessitar de uma apreciável submergência para funcionar convenientemente. A submergência necessária tende a manter o nível dinâmico elevado (e não até embaixo no rotor da bomba, caso fosse empregada uma bomba centrífuga de eixo vertical), diminuindo a diferença  $H-h$  e, portanto, a vazão do poço, o que não acontece se este se aprofundar convenientemente além do lençol (veja "Bombas de ar comprimido", no capítulo correspondente).

3 - A vazão de um poço aumenta muito pouco com o aumento do diâmetro.

A Tabela 1.1 dá os valores de  $\frac{1}{\log R/r}$  para diversos valores de  $R$  e de  $r$ .

Nota-se, na Tabela 1.1, que os valores de  $1/\log (R/r)$  variam muito pouco com os diversos valores de  $R$  e  $r$ , fazendo, portanto, com que a vazão pouco altere. Um poço de 3 m de diâmetro, por exemplo, dará uma vazão somente cerca de 20% superior a um de 1,20 m sob as mesmas condições hidráulicas.

TABELA 1.1

VALORES DE  $\frac{1}{\log R/r}$ , PARA VALORES PRÁTICOS DE  $R$  e  $r$

R (m)	Diâmetro do poço = $2r$ (em m)						
	0,10	0,20	0,30	0,60	1,20	3,00	6,00
30	0,36	0,40	0,43	0,50	0,58	0,77	1,00
60	0,32	0,36	0,38	0,43	0,50	0,62	0,77
150	0,28	0,31	0,33	0,37	0,41	0,50	0,58
300	0,26	0,28	0,30	0,33	0,37	0,43	0,50
600	0,24	0,26	0,27	0,30	0,33	0,38	0,43

Hã, porêm, vantagens, na prática, de se construírem poços cavados de diâmetros maiores, pois, além de a vazão aumentar (embora muito pouco), a capacidade de acumulação aumenta consideravelmente, permitindo o armazenamento da água durante as horas de pouco consumo. Outra vantagem que às vezes oferecem os poços de maior diâmetro é a facilidade na instalação e reparo de bombas.

Convém observar que a fórmula foi deduzida para um poço asentado sobre uma camada impermeável. Quando isso não ocorre, o que é muito comum na prática, a água penetra também pelo seu fundo, ficando o seu diâmetro com uma influência um pouco maior sobre a vazão.

4 - A vazão de um poço é aproximadamente proporcional à profundidade que ele penetra no lençol. As considerações são idênticas às do ítem 2.

5 - A vazão de um poço aumenta com a declividade do nível do lençol.

Observa-se que, nas fórmulas de Dupuit, considerou-se horizontal o nível estático do lençol, supondo-se, para isso, estar o mesmo sobre uma camada impermeável horizontal. A experiência mostra que, sendo esta inclinada e transmitindo a inclinação ao nível do lençol, a água terá movimento neste e a vazão do poço será aumentada.

6 - A vazão de um poço diminui se o seu cone de depressão for alcançado pelo cone de outro poço. É o caso de interferência de poços, assunto já mencionado.

## 2. Energia Eólica. Cataventos para o bombeamento de Água.

Há milhares de anos, o homem aproveita a energia dos ventos de diversas maneiras. Uma das maneiras tradicionais é o barco a vela, onde o vento é usado como força motriz da embarcação.

A irregularidade dos ventos e a ausência ocasional de vento em certas regiões, forçavam os navegantes a procurar rotas especiais na tentativa de encontrar ventos mais favoráveis. Barcos a vela ainda são de uso corrente, mas, com o advento de novas formas de energia propulsora, não são mais competitivos para longas viagens e o comércio em larga escala. No entanto, pela facilidade de construção e baixo custo, ainda são empregados em muitas regiões na pesca e serviços diversos.

O homem encontrou outro modo, também há muito tempo (5.000 anos, com os egípcios) de aproveitar a energia dos ventos para a execução de trabalhos mecânicos: o moinho de vento, ou, modernamente, o catavento. No século X usavam-se moinhos de pás de pano montadas num eixo vertical, para triturar grãos. No século XII, moinhos de vento já apareciam em todo o norte da Europa. Por volta do século XV os tipos já eram bastante diversificados, sendo que as inovações introduzidas nos projetos variavam de região para região.

O catavento transforma a energia dos ventos em energia de rotação das pás e essa energia é transformada por sua vez, de diversas maneiras; de acordo com os objetivos a serem atingidos.



São empregados como bombas d'águas, como geradores de energia elétrica, como trituradores de grãos, e como executores de serviços mecânicos em geral. Nos dois primeiros casos a irregularidade dos ventos é compensada pelo armazenador de energia ligado ao sistema. No caso das bombas d'água o armazenador pode ser uma caixa d'água e na geração de energia elétrica, baterias carregadas por geradores associados aos cataventos.

### 2.1. Estimativa da Energia dos Ventos

Qualquer sistema de cataventos, por melhor que seja, só consegue utilizar no máximo 60% da energia dos ventos, que pode ser estimada com segurança. Ela depende diretamente da quantidade de vento interceptado, isto é, da área varrida pelas pás. Ela depende ainda da velocidade do vento, segundo o cubo dessa velocidade. Por exemplo: se a velocidade do vento dobra, a potência aumenta oito vezes. Na Tabela 2.1 é apresentada a potência útil dos ventos admitindo-se uma eficiência de 50% em função da área varrida pelas pás e da velocidade dos ventos.

TABELA 2.1

Potência gerada em watts admitindo uma eficácia de 50%.

Diâmetro da área varrida pelo catavento em metros	Velocidade do vento em Km/hora						
	5	10	15	20	25	30	35
0.5	0.1	1	3	8	15	26	42
1	0.5	4	13	31	61	106	168
1.5	1	9	30	70	136	238	378
2	2	16	53	125	245	425	675
2.5	3	25	86	196	380	660	1050
3	4	35	119	282	550	950	1510
3.5	6	48	162	385	750	1300	2050
4	8	62	210	500	975	1640	2675
4.5	10	79	267	630	1235	2135	3390
5	12	88	330	785	1530	2650	4200

Para se estimar a energia dos ventos que pode ser aproveitada com um certo tipo de montagem, é necessário, além do conhecimento das características do catavento escolhido, ter-se uma idéia da velocidade média dos ventos na região. Essa informação pode ser obtida em estações meteorológicas ou em aeroporto próximo a região onde se pretende instalar o sistema.

Em termos práticos pode-se fazer uso da escala Beaufort. Essa escala dá uma estimativa da velocidade do vento a partir da observação direta, sem aparelhos, fazendo-se observações periódicas da velocidade e calculando-se em seguida a velocidade média.

Um desenvolvimento teórico visando avaliar a fração da potência disponível no vento, possível de ser convertida em trabalho útil, foi proposto com base no vórtice produzido quando o vento passa através do rotor. De acordo com essa teoria, a percentagem da potência disponível no vento que um aeromotor pode captar é de 5,93 a 68,7%.

Essa percentagem da potência do vento, que é possível de ser captada por um motor eólico, tem sido denominada "coeficiente de potência máxima" -  $C_p$ . Logo, a equação que fornece a potência desenvolvida por um aeromotor do tipo mais comumente utilizado, de árvore horizontal, será:

$$P = C_p \frac{\beta \cdot A \cdot V^3}{2}$$

sendo  $A = \frac{\pi D^2}{4}$ , vem:

$$P = C_p \frac{\beta \cdot V^3}{2} \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

onde  $D$  = diâmetro do rotor. Sobre essa equação, é importante salientar que, no projeto e construção dos aeromotores existem limites para a relação entre a velocidade angular  $\omega$  e o

## Escala de Beaufort para estimativa da velocidade dos ventos

Nº da escala	Designação em terra	Velocidade em m/s	Dados para avaliar a velocidade (em terra)
0	calmo	0 a 0,5	Não se nota o menor deslocamento nos mais leves objetos. A fumaça eleva-se verticalmente.
1	quase calmo	0,5 a 1,5	A direção do vento é indicada pelo desvio da fumaça mas não pelos cataventos.
2	brisa leve	2,0 a 3,1	Sente-se o vento nas faces; as folhas das árvores são levemente agitadas; os cataventos comuns são acionados.
3	vento fresco	3,6 a 5,1	As folhas e os pequenos arbustos ficam em agitação contínua; as bandeiras leves começam a se estender.
4	vento moderado	5,6 a 8,2	Movem-se os pequenos galhos das árvores, poeira e pedaços de papel são levantados.
5	vento regular	8,7 a 10,8	As árvores pequenas com folhagens começam a oscilar, aparecem ondas com cristas nas superfícies dos rios e lagos.
6	vento meio forte	11,3 a 13,9	Galhos maiores das árvores agitados; ouve-se o <u>as</u> <u>sobio</u> produzido pelo vento ao passar pelos fios <u>te</u> <u>légrafos</u> ; torna-se difícil usar o guarda-chuva.
7	vento forte	14,5 a 17,0	Os troncos das árvores oscilam, torna-se difícil andar contra o vento.
8	vento muito forte	17,5 a 20,6	Geralmente torna-se impossível andar contra o vento. Quebram-se os galhos das árvores.
9	ventania	20,1 a 24,4	Ocorram pequenos danos das edificações (telhas arrancadas, etc.).
10	vendaval	24,8 a 28,3	As árvores são derrubadas e as edificações sofrem danos materiais consideráveis.
11	tempestade	28,8 a 32,4	Resultam grandes destruições; as árvores são <u>arran</u> <u>çadas</u> . Observada muito raramente.
12	furação	33,0 a 38,5	Produzem efeitos devastadores.

diâmetro D do rotor, para a velocidade do vento que torna máxima a energia captada (velocidade nominal) por um tipo específico de rotor. Por exemplo, entre 8 tipos de motores eólicos padronizados e ensaiados em modelo reduzido, o de rotor de árvore horizontal e constituído por roda-de-pás apresenta as seguintes características:

- a) relação ótima para  $\frac{\omega R}{V} = 0,9$ , sendo R o raio do rotor e V a velocidade nominal do vento;
- b) coeficiente de potência máxima,  $C_p = 0,29$ .

Conforme se observa, os valores de 0,593 e 0,687 para  $C_p$  não levam em conta as perdas aerodinâmicas no rotor, as variações da velocidade nos vários pontos da área de captação, o tipo de rotor, etc. Assim, na prática, o coeficiente  $C_p$  geralmente não ultrapassa o valor de 0,3 - 0,4, e a avaliação das potencialidades para utilização de motores eólicos, a partir dos dados de velocidade do vento nos locais em estudo, pode ser feita através da equação:

$$P = 0,3.K.A.V^3$$

na qual o valor de K é fornecido pela tabela 2.2.

Tabela 2.2. Valores de K a serem empregados no cálculo da potência disponível no vento através da equação  $P = K.A.V^3$ , para diferentes unidades de P, A e V.

Unidade de potência	Unidade de área	Unidade de velocidade	Valor de K
cv	m <sup>2</sup>	m/s	0,0008766565
KW	m <sup>2</sup>	m/s	0,0006449924
KW	m <sup>2</sup>	km/h	0,000038244
hp	ft <sup>2</sup>	m.p.h.	0,0000071316
KW	ft <sup>2</sup>	m.p.h.	0,0000053215

## Exemplo ilustrativo

Avaliar a potência (cv), a velocidade (rpm) e o torque (m. kgf) desenvolvidos num aeromotor semelhante ao tipo comum horizontal, cujo coeficiente de potência máxima  $C_p = 0,3$ , para uma velocidade nominal do vento de 6,2 m/s e o diâmetro da roda-de-pás de 4,20 m.

## Solução

a) Cálculo da área da roda:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (4,2)^2}{4}$$

$$A = 13,85 \text{ m}^2$$

b) Cálculo da potência:

$$P_{(cv)} = 0,3 \cdot k \cdot A \cdot V^3$$

$$P_{(cv)} = 0,3 \cdot 0,0008766 \cdot 13,85 \cdot 6,2^3$$

$$P = 0,868$$

c) Cálculo da velocidade N (rpm):

. para o tipo nº 2 de Betz:  $\omega \cdot R = 0,9 \cdot V$

. sendo  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ , vem:

$$2 \cdot \pi \cdot n \cdot R = 0,9 \cdot V$$

$$n = \frac{0,9 \cdot V}{2 \pi \cdot R}$$

. mas  $N \text{ (rpm)} = n \text{ (rpm)} \cdot 60$

$$N = \frac{0,9 \cdot V}{2 \pi \cdot R}$$

$$N = \frac{0,9 \cdot 6,2 \cdot 60}{2 \pi \cdot 2,1}$$

$$N = 25,37 \text{ rpm}$$

d) Cálculo do torque:

. equação da potência:  $P_{(cv)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot T}{60 \cdot 75}$

$$\text{equação do torque: } T_{\text{m.kgf}} = \frac{P \cdot 60 \cdot 75}{2 \cdot \pi \cdot N}$$

$$T_{\text{(m.kgf)}} = \frac{0,868 \cdot 60 \cdot 75}{2\pi \cdot 25,37}$$

$$T = 24,5 \text{ m.kgf}$$

## 2.2. Tipos de Cataventos

Há basicamente dois tipos de cataventos classificados de acordo com a colocação do eixo em torno do qual ele gira: cataventos de eixo vertical e cataventos de eixo horizontal. Os cataventos mais eficientes são os de eixo horizontal (a eficiência dos de eixo vertical atinge no máximo 35%). A Figura 2.1 apresenta os diferentes tipos de cataventos utilizados. A escolha do tipo de catavento irá depender das condições específicas de utilização, sendo conveniente que a escolha se baseie nas especificações técnicas dos cataventos disponíveis no comércio de modo a satisfazer as necessidades e condições locais de uso requeridas.

Para o bombeamento de água, os cataventos acionam, via de regra, bombas de pistão. Os cataventos encontrados no comércio em nosso meio, podem recalcar até uma altura máxima em torno de 60 metros, dando vazão máxima ao redor de 3.000 l/h. Os cataventos podem ser montados em torres metálicas com 6 a 15 metros de altura, ou em postes de madeira (cataventos menores). A Figura 2.2 apresenta um catavento típico.

Um tipo de bomba de pistão bastante usado acoplado aos cataventos, é mostrado na Figura 2.3.. Nesse tipo de bomba, a vazão é dada pela expressão:

$$Q = \alpha S h n \text{ (m}^3\text{/min.)}$$

onde:

S = secção interna do cilindro, em m<sup>2</sup>

h = curso do pistão, em m

n = número de golpes do pistão, por minuto

$\alpha$  = rendimento volumétrico, que varia de 0,80 a 0,95 em função do acabamento da bomba.

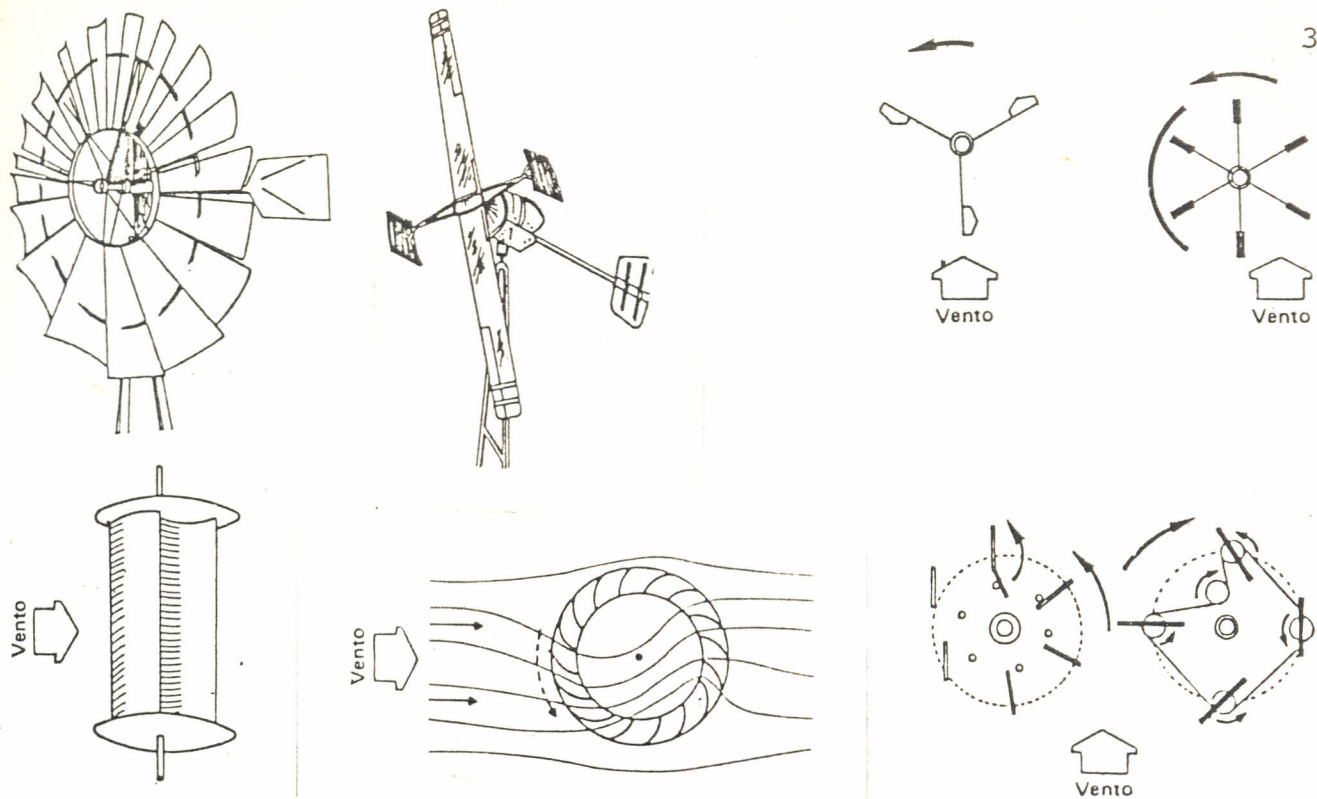


FIG. 2.1 - Diferentes tipos de cataventos (rotores).

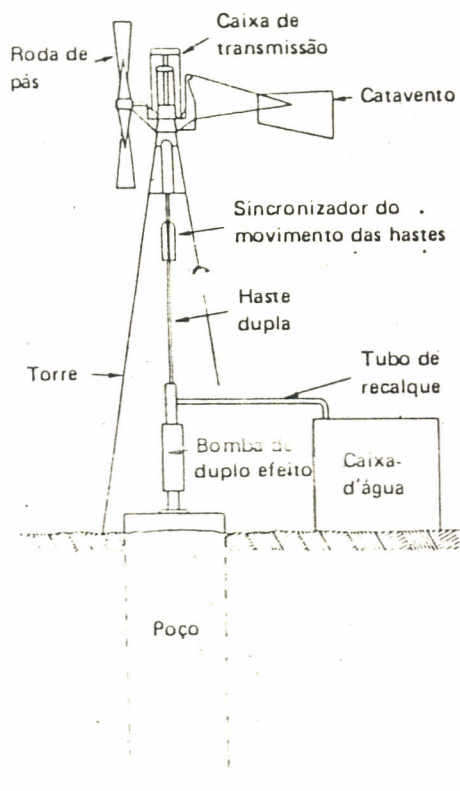


FIG. 2.2 - Catavento típico.

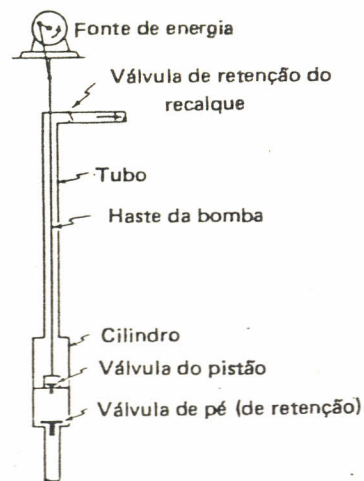


FIG. 2.3 - Exemplo de bomba de pistão usada com cataventos.

### 3. Utilização de rodas de água para bombeamento

As rodas de água, que nada mais são que turbinas de ação tangencial, ou turbina Pelton, nome de quem desenvolveu o projeto básico atualmente em uso. Um esquema de instalação de uma turbina Pelton é apresentado na Figura 3.1..

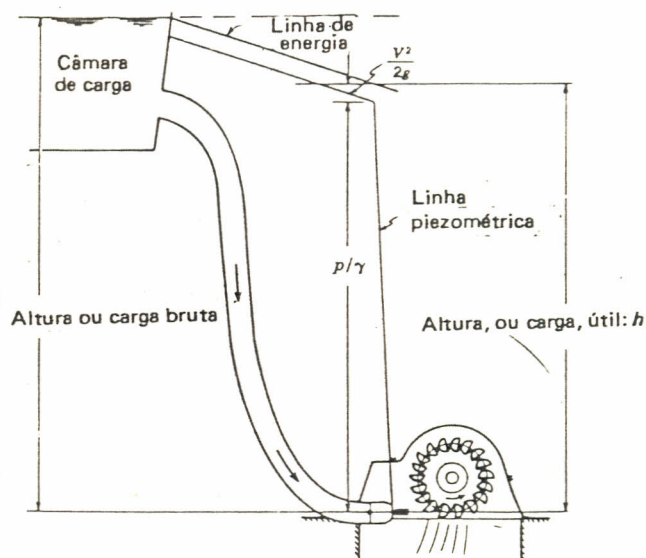


Fig. 3.1 – Desenho esquemático da instalação de uma turbina de ação ou Pelton

O rotor (ou a roda propriamente dita) dispõe de uma série de conchas, providas de uma aresta central, localizada ao longo de seu perímetro. Essas conchas podem ser fundidas em separado e aparafusadas ao disco central, ou podem ser fundidas em uma só peça junto ao rotor (Figura 3.2).

Quando o jato incide sobre as arestas das conchas divide-se em dois jatos que se escoam pelos dois lados da concha. Nas turbinas pequenas usa-se um só jato, ao passo que nas grandes, dois ou mais jatos são lançados em diferentes pontos em redor da roda Pelton. Para maior eficiência os jatos devem ser formados por um bocal de agulha, similar às válvulas de agulha.



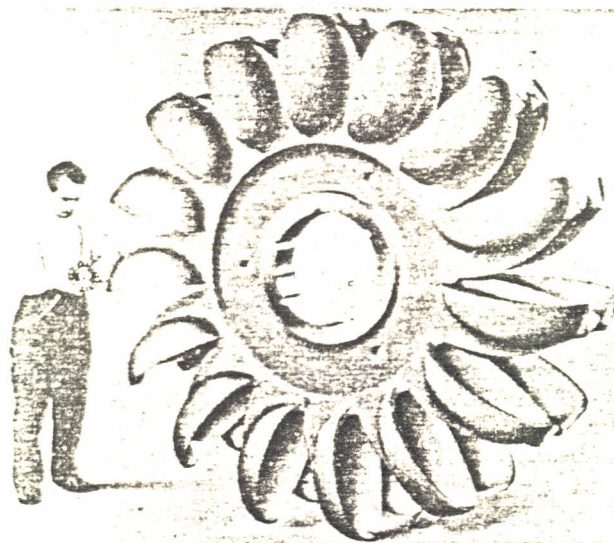


Fig. 3.2 - Rotor de ação ou roda Pelton (Balwin, Lima, Hamilton Co.)

Para maior eficiência, a largura das conchas deve ser 3 a 4 vezes o diâmetro do jato e o diâmetro do rotor 15 a 20 vezes o diâmetro do jato. Os diâmetros das turbinas de ação alcançam até cerca de 4,5 m.. Teoricamente, a eficiência máxima seria obtida se as conchas pudessem inverter completamente a velocidade relativa do jato. Isso não é possível, pois a água precisa ser desviada para um dos lados para evitar interferência com a concha seguinte; o ângulo  $\beta$  da concha é, em geral de cerca de  $165^{\circ}$  (Fig. 3.3.b). O entalhe da concha evita que o jato incida nas costas das mesmas enquanto giram até a posição adequada para recebe-lo.

### 3.1. Funcionamento da Turbina de Ação

A Fig. 3.3.a mostra um setor de uma turbina de ação girando com velocidade  $u$  tangencial à circunferência correspondente aos centros das conchas. Na Fig. 3.3.b, vê-se um corte de uma das conchas em duas posições sucessivas. A é a posição no

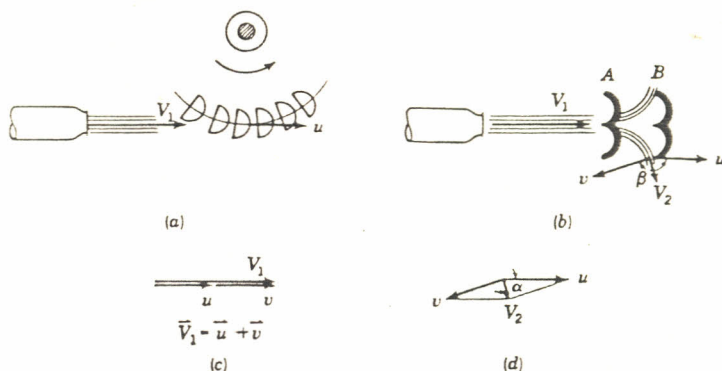


Fig. 33 - Funções hidráulicas relativas a uma turbina de ação

instante da incidência da água sobre a concha, e B é o instante em que a água sai da concha. O percurso real da água está indicado e sua velocidade varia de  $V_1$ , na incidência, a  $V_2$  na saída. O diagrama vetorial das velocidades no instante da incidência, está representado na Fig. 3.3.c. O vetor  $v$  representa a velocidade da água relativamente à concha. Desprezando o atrito, o valor da velocidade da água, relativamente à concha, permanece constante, porém a direção na saída, deve ser tangente à concha (Fig. 3.3.d). Aplicando o princípio da quantidade de movimento, a força exercida pela água sobre a concha, na direção do mesmo, será

$$F = Q (V_1 - V_2 \cos \alpha)$$

onde  $Q$  é a vazão do bocal. Em termos de velocidade relativa

$$F = Q (v - v \cos \beta) = Q (V_1 - u) (1 - \cos \beta)$$

pois a velocidade relativa  $v = V_1 - u$

A potência transmitida às conchas pela água é o produto da força pela velocidade do corpo onde atua a força. Então:

$$P = Fu = Q (V_1 - u) (1 - \cos \beta) u$$

A potência será nula quando  $u = 0$  ou quando  $u = V_1$ . Para uma determinada turbina e um certo jato, a potência máxima ocorrerá

re a uma velocidade intermediária  $u$ , que pode ser determinada diferenciando a equação anterior, e igualando a zero. Assim:

$$\frac{d p}{d u} = Q (1 - \cos \beta) (V_1 - u - u) = 0$$

donde:  $u = V_1/2$ . Portanto, o maior rendimento hidráulico (desprezando o atrito) verifica-se quando a velocidade periférica do rotor é a metade da velocidade do jato. Ensaios com turbinas de ação mostram que, devido às perdas de energia, as melhores condições de funcionamento ocorrem quando  $u/V_1$  se situa entre 0,43 e 0,48.

Sendo o bocal parte integrante do sistema, a carga útil  $h$ , atuando sobre a turbina, é a soma de altura piezométrica  $p/g$  e da altura cinética na entrada do bocal como se vê na Fig. 3.1.. A potência no freio transmitida por uma turbina, pode ser expressa por:

$$\text{Potência no freio} = \gamma Q h e \quad (\text{em kgf m/s})$$

sendo  $e$  o rendimento total do conjunto. As perdas de energia em uma turbina de ação incluem as perdas pelo bocal, perdas devidas ao atrito gerado pela água, aos vórtices nas conchas, à energia cinética da água ao deixar as conchas, ao atrito nos mancais, e à resistência do ar. O rendimento máximo já conseguido nas turbinas de ação bem projetadas, beira 85 a 90%.

### 3.2. Rodas de água no acionamento de bombas

As rodas de água são usadas como fonte de potência no acionamento de bombas hidráulicas em muitas situações no meio rural. Seu uso, no entanto, deve ser avaliado frente a outras fontes de energia propulsora para bombeamento, antes de adotado. Por exemplo, em muitos casos o carneiro hidráulico traz vantagens em relação à roda de água.

Usualmente, o tipo de bomba acionada por roda de água, é a bomba de pistão, e, no comércio, são disponíveis apenas conjun-

re a uma velocidade intermediária  $u$ , que pode ser determinada diferenciando a equação anterior, e igualando a zero. Assim:

$$\frac{d p}{d u} = Q (1 - \cos \beta) (V_1 - u - u) = 0$$

donde:  $u = V_1/2$ . Portanto, o maior rendimento hidráulico (desprezando o atrito) verifica-se quando a velocidade periférica do rotor é a metade da velocidade do jato. Ensaios com turbinas de ação mostram que, devido às perdas de energia, as melhores condições de funcionamento ocorrem quando  $u/V_1$  se situa entre 0,43 e 0,48.

Sendo o bocal parte integrante do sistema, a carga útil  $h$ , atuando sobre a turbina, é a soma de altura piezométrica  $p/g$  e da altura cinética na entrada do bocal como se vê na Fig. 3.1.. A potência no freio transmitida por uma turbina, pode ser expressa por:

$$\text{Potência no freio} = \gamma Q h e \quad (\text{em kgf m/s})$$

sendo  $e$  o rendimento total do conjunto. As perdas de energia em uma turbina de ação incluem as perdas pelo bocal, perdas devidas ao atrito gerado pela água, aos vórtices nas conchas, à energia cinética da água ao deixar as conchas, ao atrito nos mancais, e à resistência do ar. O rendimento máximo já conseguido nas turbinas de ação bem projetadas, beira 85 a 90%.

### 3.2. Rodas de água no acionamento de bombas

As rodas de água são usadas como fonte de potência no acionamento de bombas hidráulicas em muitas situações no meio rural. Seu uso, no entanto, deve ser avaliado frente a outras fontes de energia propulsora para bombeamento, antes de adotado. Por exemplo, em muitos casos o carneiro hidráulico traz vantagens em relação à roda de água.

Usualmente, o tipo de bomba acionada por roda de água, é a bomba de pistão, e, no comércio, são disponíveis apenas conjun-

tos de tamanho relativamente pequeno, se prestando para abastecimento residencial e para animais em propriedades agrícolas.

Um exemplo de "bomba hidráulica" (como é conhecido o conjunto), a bomba de marca Rochfer, fabricada em Franca - S.P., apresenta em seu tipo "standard", a roda com um diâmetro de 1,37 m e, trabalha preferencialmente com a água admitida por cima. É recomendável uma altura de queda mínima de 1,70 m, prevendo-se 0,20 m para o desnível da calha, 0,13 m para o vão entre a parte inferior da roda e o solo, e 1,37 m para o seu diâmetro (Fig. 3.4).

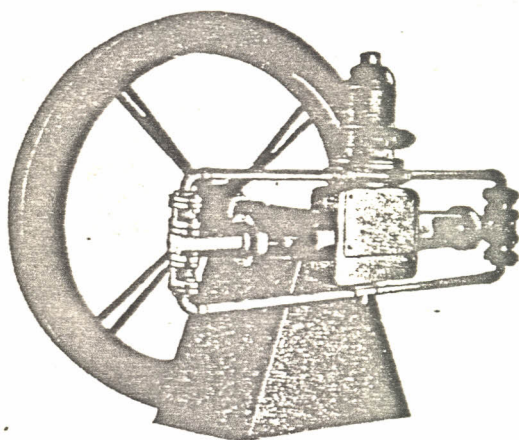


Fig. 3.4 — Bomba conjugada com roda de água ("bomba hidráulica"), constituída da roda e de uma bomba de pistão de dois êmbolos horizontais (Fabricação da Rochfer, Franca, São Paulo)

Conjugada com essa roda, podem ser montados dois modelos de bombas de pistão, uma para tubulação de 1/2 a 3/4", e outra maior, para encanamento de 3/4 a 1", podendo ambas elevar água até 80 m de altura manométrica total.

Essa "bomba hidráulica" apresenta uma regulagem do movimento excêntrico, podendo ser reduzido o curso dos pistões, para se adaptar a menores vazões (períodos secos). A bomba é provida de dois pistões, montados em um único eixo horizontal de funcionamento sincronizado.

Nesse sistema, o número de rotações por minuto de roda varia normalmente de 10 a 30, e a vazão elevada pode ir de 90 a 550 litros por minuto, para uma altura média de elevação de 20 metros.

## 4. Bibliografia Consultada

AZEVEDO NETO, J.M. de e AVAREZ, G.A.. Manual de Hidráulica, 6<sup>a</sup> ed., 2 V., Ed. Blucher, São Paulo, 1973.

BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. Manual de Energia Solar, Brasília, 1978.

DICKINSON, W.C. e CHEREMISINOFF, P.N.. Solar Energy Technology Handbook. Part A - Engeneering Fundamentals. Marcel Dekker Inc., New York, 1980.

LINSLEY, R.K. e FRANZINI, J.B. Water Resources Engeneering 2<sup>a</sup> ed., McGraw - Hill Inc., New York, 1972.

TODD, D.K., Hidrologia de Águas Subterrâneas, USAID, Rio de Janeiro, 1967.