

Processos Expeditos de Medição de Descarga para Abastecimento D'Água de Pequenas Comunidades

Eng.º **NELSON GANDUR DACACH**
Prof. Catedrático da Escola Politécnica da
Universidade Federal da Bahia.

Um manancial poderá ser utilizado para abastecer uma cidade se tiver condições de atender com segurança ao consumo total de água estimado para a população limite de projeto. Daí a necessidade das medições de vazão.

As medições de vazão só conduzem a um resultado significativo e merecedor de confiança, se efetuadas em grande número durante dilatado período de tempo, suficiente para permitir o registro inclusive de valores máximos e mínimos, que geralmente muito se distanciam em tempo e grandeza. Somente nesses casos justificam-se medições rigorosas, obviamente.

Como, de modo geral, o Engenheiro se depara com mananciais nunca antes medidos ou cujos registros de vazão fogem ao seu conhecimento, então vê-se na contingência de efetuar as medições em curto espaço de tempo. Este, geralmente limitado aos dias necessários à efetivação dos serviços de campo dos estudos preliminares, raramente totalizam uma semana e nem sempre coincidem com o período de estio, razão pela qual não tem sentido o rigor das medições feitas nessas condições.

Dentre os processos expeditos utilizam-se geralmente:

- medição direta
- medição por vertedores
- medição por flutuadores
- medição por molinetes
- medição do jato livre
- medição por bombeamento

1 — Medição direta

Na medição de descarga pelo processo direto, lança-se mão de um recipiente de capacidade previamente conhecida ou de fácil determinação.

A partir de um certo instante, o caudal é dirigido para o recipiente a fim de enchê-lo. A simples divisão da capacidade do recipiente, em litros, pelo tempo necessário para enchê-lo, em segundos, dá como resultado a vazão do manancial em litros por segundo. Quanto maior fôr o tempo de determinação maior será a precisão.

É possível e até mesmo recomendável o emprego da medição direta, desde que se trate de pequena vazão e as condições locais permitam que o caudal em sua totalidade possa ser encaminhado para o interior do recipiente, enquanto se processa a medição, para o que se faz imprescindível a queda livre do jato d'água.

Geralmente lança-se mão de tonel ou lata de gasolina por serem facilmente encontrados em qualquer localidade.

As latas de gasolina, com cerca de 19 litros, recomendam-se para vazões inferiores a 3 litros por segundo. Para vazões maiores, emprega-se o tonel.

Na medição, o operador precisa de um auxiliar para movimentar a lata, enquanto êle mesmo controla o relógio para determinação do tempo. Na prática, em medições esporádicas, não se impõe o uso de cronômetro, cuja precisão é de um décimo de segundo.

Para iniciar a medição o operador faz uma advertência contando alto "um, dois, três!". Logo em seguida, precisamente quando o ponteiro de segundos inicia um novo giro, êle grita "Vá!", para que bruscamente o auxiliar ponha o recipiente debaixo do jato d'água. Continuando a olhar para o relógio, fica aguardando que o auxiliar diga "pronto!", no momento preciso em que a água começa a transbordar, oportunidade em que é feita a leitura no relógio, com a precisão de um segundo.

A operação deve ser repetida, em número de vezes tanto maior quanto menor fôr a precisão da

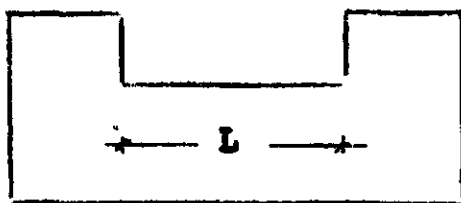
medida, que, como já foi dito, depende do tempo de determinação.

2 — Medição por vertedores

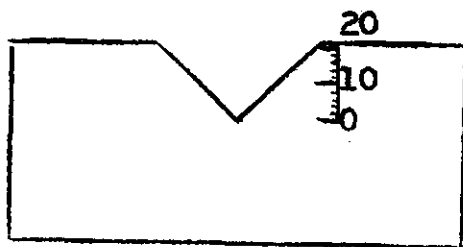
Para a medição de rios, em certos casos podem ser usados vertedores, porém somente os retangulares já que os triangulares não comportam a passagem de grande volume de água.

Considerando, todavia, que os rios têm capacidade para cobrir com bastante folga a demanda das pequenas comunidades e que a sua medição por meio de vertedores somente se justifica se fôr longo o período de observação, em face das despesas elevadas para a sua demorada instalação (geralmente são feitos de alvenaria ou concreto), chega-se à conclusão de que não cabem aqui maiores apreciações a respeito do emprêgo de vertedores para a medição de rios, por ocasião dos estudos preliminares.

Para os riachos são usados tanto os vertedores retangulares, como os triangulares de 90°. Devem ser de parede delgada e preferencialmente metálicos, embora se tolerem os de madeira, por ser esta facilmente encontrada, além de exigir um simples serrote para o seu corte (desenhos a e b).



a) Vertedor retangular

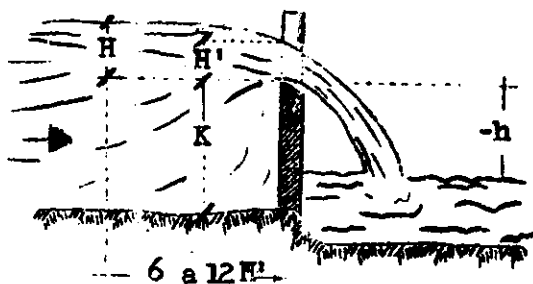


b) Vertedor triangular de 90°

Tendo em vista a precisão das medidas, recomenda-se o vertedor triangular para as vazões inferiores a 25 litros por segundo e os retangulares, para vazões maiores, embora êsse limite seja bem flexível.

Geralmente, algumas precauções são tomadas para o sucesso das medições, além da escolha de um trecho uniforme e retilíneo. Dentre elas destacam-se as que visam uma lâmina vertente livre, a passagem de tãda a água pelo vertedor, a horizontalidade dêste e a determinação da carga.

A lâmina livre pode ser obtida desde que se encontre um trecho do leito que apresente desnível ou se empregue um vertedor com altura K relativamente grande, a fim de elevar muito o nível d'água de montante (desenho c).



c) Vertedor livre

A passagem de tãda a água pelo vertedor é possível desde que sejam vedadas as aberturas que se formam entre a seção transversal do riacho e o contôrnio lateral e inferior da placa do vertedor.

À simples vista percebe-se a horizontalidade do vertedor. Todavia, para constatá-la recomenda-se um nível de pedreiro. Em se tratando de vertedor retangular, a horizontalidade também ocorre quando se torna uniforme a espessura da lâmina d'água sôbre a soleira, o que é fácil de se constatar por meio de medidas feitas nas faces opostas.

O valor de H deve ser medido a montante, a uma distância compreendida entre 6 e 12 vezes o valor de H' , que é menor devido à depressão que sofre a lâmina vertente. Em outras palavras, o valor de H a ser utilizado nas fórmulas é superior à altura H' da lâmina líquida, medida diretamente sôbre o vertedor (desenho c).

Algumas vezes é trabalhosa a determinação rigorosa do valor de H , sobretudo quando é rochoso o leito do riacho. Achamos mais conveniente, quando isso ocorre, a utilização do valor H' , facilmente determinável, desde que se trace na face de jusante do vertedor uma escala vertical, graduada em centímetros, tendo o zero em nível com a soleira (vertedor retangular) ou com o vértice (vertedor triangular). Em média $H' = 0,85 H$ (desenho b).

Chamamos a atenção para o fato de que a medição da carga só deverá ser feita após a recuperação do equilíbrio dinâmico do escoamento. Em outras palavras, somente deverá ser feita a medição quando a carga, inicialmente reduzida e que vai crescendo aos poucos, atingir um valor máximo estacionário.

Feitas essas considerações de ordem geral, abordemos inicialmente os vertedores triangulares e em seguida, os retangulares.

Vertedores triangulares de 90° de parede delgada — A descarga pode ser determinada pela fórmula de Thompson:

$$Q = 1,4 H^{3/2} \quad (1)$$

onde Q é a vazão em m³/s e H a carga em metros.

Esta fórmula serviu para a confecção da seguinte tabela, que fornece as vazões, com a precisão de um décimo de litro por segundo, em função da carga H entre 4 e 21 centímetros.

VERTEDORES TRIANGULARES DE PAREDE DELGADA

(Fórmula de Thompson: $Q = 1,4 H^{3/2}$)

Carga H cm	Vazão Q l/s	Carga H cm	Vazão Q l/s	Carga H cm	Vazão Q l/s
4	0,4	10	4,4	16	14,3
5	0,8	11	5,6	17	16,7
6	1,2	12	7,0	18	19,2
7	1,8	13	8,5	19	22,0
8	2,5	14	10,3	20	25,0
9	3,4	15	12,2	21	28,3

Vertedores retangulares de parede delgada — Não havendo contrações ou, o que vem a ser o mesmo, sendo a largura do vertedor igual à do curso d'água, a descarga pode ser determinada pela fórmula de Francis:

$$Q = 1,838 L H^{3/2} \quad (2)$$

onde Q é a vazão em m³/seg, L, a largura em metros e H, a carga em metros.

Para vertedores com 0,50m de soleira, esta fórmula fornece as vazões da seguinte tabela, determinadas para valores de H entre 8 e 25 centímetros.

Para vertedores com larguras diferentes, as vazões indicadas devem ser multiplicadas por L/0,5m.

VERTEDORES RETANGULARES DE PAREDE DELGADA SEM CONTRAÇÕES

(Fórmula de Francis: $Q = 1,838 L H^{3/2}$, com L = 0,50 m)

Carga H cm	Vazão Q l/s	Carga H cm	Vazão Q l/s	Carga H cm	Vazão Q l/s
8	20,8	14	48,1	20	82,2
9	24,8	15	53,4	21	88,4
10	29,1	16	58,8	22	94,8
11	33,5	17	64,4	23	101,4
12	38,2	18	70,2	24	108,0
13	43,1	19	76,2	25	114,9

Na prática, geralmente ocorrem duas contrações, de modo que, para um determinado valor de H, a vazão é inferior, já que a lâmina vertente se apresenta com menor largura (desenho e).

A fórmula de Francis, levando em conta as duas contrações, transforma-se na que encima a seguinte tabela:

VERTEDORES RETANGULARES DE PAREDE DELGADA COM 2 CONTRAÇÕES

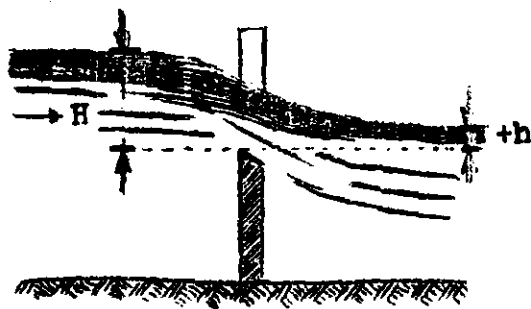
(Fórmula de Francis: $Q = 1,838 (L-H/5) \cdot H^{3/2}$, com $L = 0,50m$)

Carga H cm	Vazão Q l/s	Carga H cm	Vazão Q l/s	Carga H cm	Vazão Q l/s
8	20,1	14	45,4	20	75,6
9	23,9	15	50,2	21	81,0
10	27,9	16	55,1	22	86,5
11	32,1	17	60,0	23	92,0
12	36,4	18	65,1	24	97,7
13	40,8	19	70,4	25	103,4

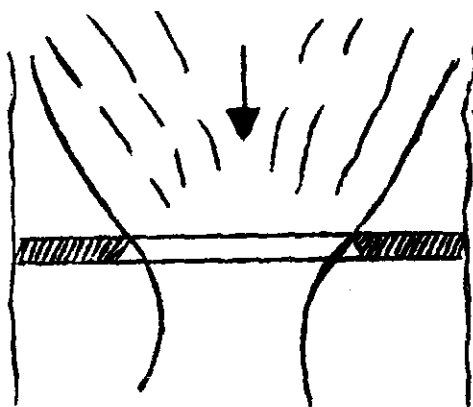
Até agora temos considerado os vertedores instalados de modo tal a proporcionarem lâmina vertente livre, o que ocorre quando o nível d'água de jusante fica abaixo do limite inferior do vertedor, que é a soleira no retangular e o vértice, no triangular. Se o vertedor trabalhar afogado, isto é, se o nível d'água de jusante superar aquele limite, a

vazão torna-se menor para um determinado valor de carga H (desenho d).

A seguir apresentamos uma tabela de coeficientes de redução de descarga, definidos em função das alturas do nível d'água de jusante e de montante, medidas acima da cota da soleira, conforme dados do "United States Board of Waterways".



d) Vertedor afogado



e) Vertedor com 2 contrações

COEFICIENTES DE REDUÇÃO DE DESCARGA PARA VERTEDORES AFOGADOS

h/H	Coefficiente	h/H	Coefficiente
0,0	1,00	0,5	0,94
0,1	0,99	0,6	0,91
0,2	0,98	0,7	0,86
0,3	0,97	0,8	0,78
0,4	0,96	0,9	0,62

Portanto, para o vertedor afogado a vazão determinada pela fórmula de Thompson ou de Francis será multiplicada por um dos coeficientes indicados na tabela.

3 — Medição por flutuadores

Os flutuadores são dispositivos com características tais que lhes permitem adquirir a mesma velocidade da água em que flutuam. Geralmente utilizam-se os de superfície, que nada mais são do que uma pequena bola de peso reduzido.

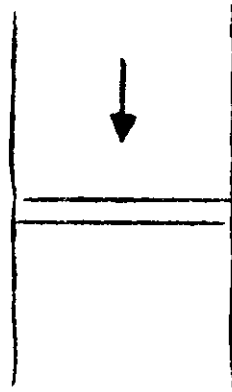
Num curso d'água, as velocidades medidas em uma vertical variam com a altura. Seu valor médio pode ser obtido em função da velocidade superficial desde que esta seja multiplicada por um coeficiente variável de 0,80 a 0,90.

Por sua vez, a velocidade média em cada vertical é variável ao longo de uma seção transversal, apresentando-se máxima no centro das seções, para os trechos uniformes e retilíneos dos cursos d'água. Assim sendo, a medição de vazão impõe que essa velocidade média seja determinada para diversas verticais, em função da velocidade superficial.

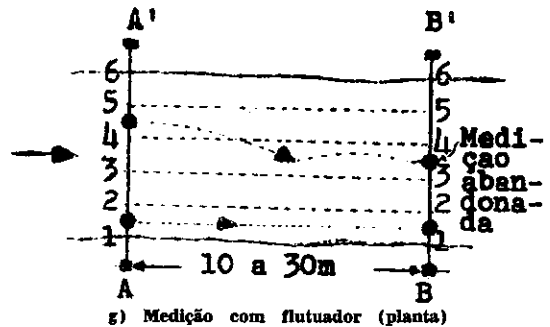
De posse das velocidades médias e das áreas parciais correspondentes da seção transversal, determina-se a descarga.

Na prática, a operação é feita começando-se por escolher um trecho uniforme e retilíneo do curso d'água, com extensão variável de 10 a 30m, extensão essa que é função da própria velocidade. Nas seções extremas do referido trecho, estende-se de lado a lado do rio uma corda com divisões de igual comprimento, 1 metro ou seu múltiplo, conforme a largura do rio. No centro de cada divisão da corda de montante é colocado o flutuador, que

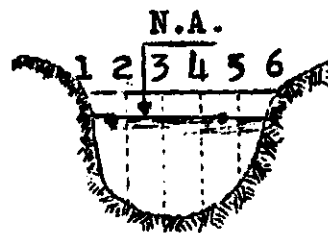
se desloca até a corda de jusante, em determinado tempo (desenhos g e h).



f) Vertedor retangular sem contrações



g) Medição com flutuador (planta)



h) Medição com flutuador (seção A-A')

A simples divisão do percurso em metros pelo tempo em segundos dá o valor da velocidade superficial referente a cada faixa da seção transversal do leito.

A medição é abandonada quando o flutuador no seu deslocamento se desvia da faixa superficial definida pelas divisões correspondentes das duas cordas.

Numa medição mais expedita, o flutuador pode ser único e até mesmo constituído de pequeno graveto. Neste caso, a extensão do trecho do rio pode ser reduzida para 10m e o flutuador deverá deslocar-se no meio do rio.

A operação é repetida 2 ou 3 vezes, visando-se a determinação de um valor médio que mais se aproxima da verdadeira velocidade superficial do centro, que, multiplicada por um coeficiente da ordem de 0,7, indicará a velocidade média do curso d'água.

A vazão é então obtida multiplicando-se a velocidade média pela área da seção transversal, calculada a grosso modo.

4 — Medição por molinetes

Os molinetes são utilizados para a medição de descarga de rios. São aparelhos metálicos que possuem uma série de conchas ou palhetas, simetricamente dispostas em torno de um eixo que gira com pequeno atrito em seu suporte.

Quando o molinete é mergulhado, as conchas ou palhetas, impulsionadas pelo líquido em movimento, descrevem um movimento de rotação, cuja velocidade cresce com a intensidade da corrente.

Os molinetes mais modernos possuem um dispositivo elétrico, alimentado por um par de baterias que faz funcionar um registrador de rotações. Toda vez que é completada uma volta, ou uma série definida de voltas, o número acusado pelo registrador é acrescido de uma unidade, oportunidade em que se ouve um "tic" ou outro sinal acústico, a depender do fabricante.

Acompanha o aparelho um cabo de aço flexível com divisões igualmente espaçadas, bem como pequenas hastes metálicas graduadas que podem ser atarrachadas uma às outras.

O cabo, tendo os seus extremos presos às margens opostas do rio, serve para materializar a seção transversal a medir, indicando os pontos igualmente distanciados, em cujas verticais serão medidas a profundidade do leito e as velocidades da corrente a diversas alturas.

Em se tratando de rios de pequena largura, o cabo pode ser substituído por uma viga de madeira, que é apoiada nas margens opostas, de modo a fi-

car acima do nível d'água. Nela são feitas divisões de meio em meio metro.

Um pequeno barco, que se faz indispensável para as medições ao longo do cabo, no caso da viga torna-se dispensável, já que o operador do molinete pode se deslocar sobre a mesma, enquanto o outro permanece com o registrador em uma das margens.

O registro das velocidades é feito simultaneamente com a medição das profundidades do leito.

Ao iniciar a medição, o operador do molinete, na primeira divisão do cabo ou da viga, faz baixar verticalmente a haste metálica até que esta atinja o fundo. Então, pelo número de graduações que ficam acima do nível da água, é facilmente determinada a profundidade do rio naquela divisão, profundidade essa que é registrada numa caderneta convenientemente preparada.

Em seguida, a haste é retirada e nela o molinete é deslocado para a primeira linha divisória existente na parte inferior, onde é afixado por meio de um parafuso de pressão. Feito isso, a haste é novamente arreada para atingir o fundo na posição vertical, oportunidade em que o operador registra na fôlha o número acusado pelo registrador.

No momento exato em que o ponteiro do relógio inicia uma nova rotação, o operador liga o interruptor de corrente e então ouvem-se, de intervalo em intervalo, os "tics" dos giros efetuados. Depois de um período definido de tempo, função da velocidade do rio e que varia de 40 a 70 segundos, o interruptor é desligado. Em seguida verifica-se o novo número acusado pelo registrador, o qual é anotado ao lado do primeiro. A diferença entre eles é justamente o número de voltas ou de séries de voltas dadas pelo molinete durante o período de tempo considerado.

Feito isso, a haste é retirada e o molinete novamente deslocado para uma linha divisória subsequente, repetindo-se as operações anteriormente descritas. O molinete sofre novos deslocamentos ao longo da haste até que no último fique logo abaixo da superfície da água, depois de devidamente mergulhado.

Concluídas tôdas as medições feitas na vertical da primeira graduação do cabo ou da viga, o operador parte para a 2.^a graduação e assim, sucessivamente, até atingir a última.

Os elementos registrados em caderneta permitem a determinação, para cada vertical, de uma velocidade média, bem como o cálculo das áreas parciais da seção transversal do rio.

Somando-se os diversos resultados obtidos, cada um deles em decorrência da multiplicação de uma área parcial pela semi-soma das velocidades médias das verticais que a limitam, obtém-se o valor da descarga do rio.

5 — Medição do jato livre

Este processo baseia-se no simples fato de que quanto maior for a vazão num conduto, maior alcance terá o jato que se forma em sua extremidade livre.

Por outro lado, para tubos de variados diâmetros, todos com a mesma vazão, maior alcance terá o jato que se forma na extremidade livre do conduto de menor diâmetro.

A trajetória do jato é uma parábola do 2.º grau cuja equação permite definir a vazão através da seguinte fórmula:

$$Q = A \cdot x \sqrt{\frac{g}{2y}} \quad (4)$$

sendo:

Q = a vazão em m³/s

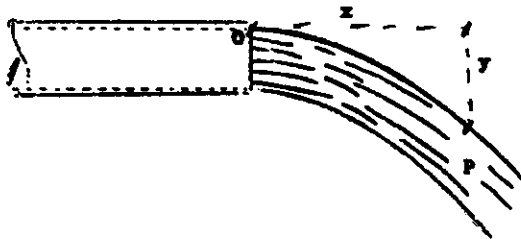
A = a área da seção transversal do tubo em m²

g = aceleração da gravidade em m/seg²

x = abscissa de um ponto do jato em m

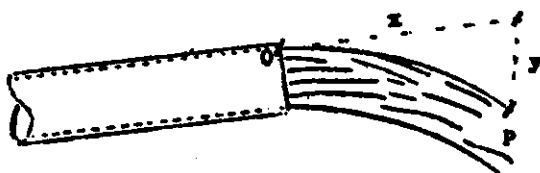
y = ordenada do mesmo ponto do jato em m

A origem dos eixos cartesianos é o extremo da geratriz superior interna do tubo, a qual funciona como eixo dos x, e as coordenadas referem-se a pontos situados no limite superior do jato, como mostra o desenho i.

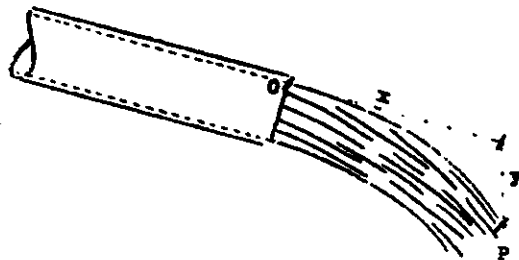


i) Jato de água a seção plena em tubo na horizontal

Caso o tubo não se encontre na horizontal, os valores de y são tomados na vertical, como mostram os desenhos j e l.



j) Jato de água à seção plena em tubo na posição ascendente



l) Jato de água à seção plena em tubo na posição descendente

Para a medição do jato livre utilizam-se, geralmente, tubos de 50mm (2") 75mm (3"), 100mm (4"), 125mm (5") e 150mm (6").

Para um tubo de determinado diâmetro, se fixarmos o valor de y em 25cm, a vazão ficará sendo função exclusivamente de x, através das seguintes fórmulas, sendo Q em l/seg e x em cm.

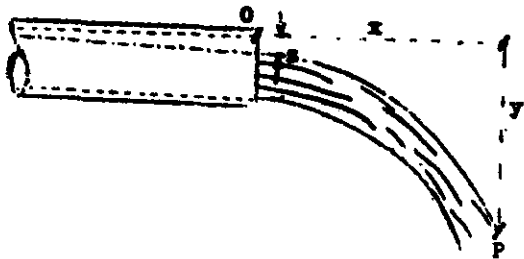
Tubo de 50mm	.....	Q = 0,0870 . x
75mm	.....	Q = 0,1956 . x
100mm	.....	Q = 0,3478 . x
125mm	.....	Q = 0,5434 . x
150mm	.....	Q = 0,7825 . x
200mm	.....	Q = 1,3910 . x

Fazendo uso destas fórmulas podemos organizar a seguinte tabela, onde as vazões ficam definidas por pares de valores do diâmetro D e da abscissa x.

VAZÃO EM l/s, PARA 25 cm DE QUEDA DO JATO LIVRE EM SEÇÃO PLENA

DIÂMETRO (D)	DISTÂNCIA (x)								
	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm	45 cm	50 cm	55 cm
50 mm (2")	1,31	1,74	2,18	2,61	3,05	3,48	3,92	4,35	4,79
75 mm (3")	2,93	3,91	4,89	5,87	6,85	7,82	8,80	9,98	10,76
100 mm (4")	5,22	6,96	8,70	10,43	12,17	13,91	15,65	17,39	19,13
125 mm (5")	8,15	10,87	13,59	16,30	19,02	21,74	24,45	27,17	29,89
150 mm (6")	11,74	15,65	19,56	23,48	27,39	31,30	35,21	39,13	43,04
200 mm (8")	20,87	27,82	34,78	41,73	48,69	55,64	62,60	69,55	76,51

Pode acontecer que o jato d'água não ocupe toda a seção de saída do tubo, tratando-se então de uma vazão menor que a do jato que se processaria à seção plena para os mesmos valores de x e y (desenho m).



m) Jato de água à seção parcial em tubo na posição horizontal

Neste caso e em se tratando de tubo na horizontal a fórmula que define a vazão torna-se:

$$Q' = A' \cdot x \sqrt{\frac{g}{2y}} \quad (6)$$

Relacionando (1) a (2), tem-se

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{A'}{A} \therefore Q' = Q \cdot \frac{A'}{A} \quad (5)$$

Portanto, quando o jato ocupa toda a área da seção de saída do conduto, no caso dêste encontrar-se na horizontal, a vazão Q' é igual àquela Q que ocorreria se a seção de saída fôsse totalmente molhada, multiplicada pela relação entre a área parcial A' e total A de escoamento.

Na prática determina-se o valor da altura molhada (z). O resultado de sua divisão pelo diâmetro interno do tubo, permite, através da seguinte tabela, fornecer o valor de A'/A .

z/D	A'/A	z/D	A'/A
0,05	0,981	0,30	0,747
0,10	0,948	0,35	0,688
0,15	0,905	0,40	0,627
0,20	0,858	0,45	0,564
0,25	0,805	0,50	0,500

6 — Medição por bombeamento

Este processo destina-se à determinação da descarga de que é capaz um poço raso, quando se visa o aproveitamento do lençol freático.

O processo baseia-se no emprego de uma bomba, geralmente à gasolina, provida de mangotes de borracha para funcionarem como tubulações de sucção e de descarga, com capacidade superior à vazão que se deseja retirar do poço.

Para determinarmos se a vazão do poço é maior ou menor que a desejada podemos lançar mão do **Processo de Porchet**, baseado no traçado da curva de depressão do nível d'água, seguida da curva de ascensão que se inicia quando cessa o bombeamento.

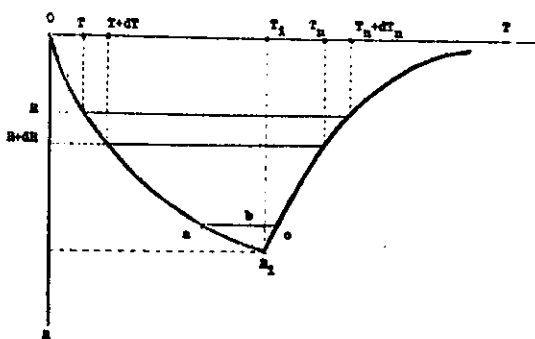
Para o traçado das curvas limnigráficas faz-se necessário a anotação de pares de valores tempo e rebaixamento do nível d'água.

O bombeamento deve ser interrompido num instante em que ainda esteja ocorrendo a depressão do nível d'água.

As curvas limnigráficas apresentam-se como se vê na fig. n.

A vazão de que o poço é capaz pode ser definida com uma margem de erro da ordem de 10% através da fórmula

$$q = Q \cdot \frac{\overline{ab}}{\overline{ac}}$$



n) Método "Porchet" para estimativa de vazão de um poço freático

Se tomarmos os tempos em abscissas e os rebaixamentos do nível d'água em ordenadas, de modo que haja as seguintes correspondências:

- $T_0 = 0$ — início do bombeamento;
- T_1 — interrupção do bombeamento;
- $R_0 = 0$ — rebaixamento inicial do nível d'água;
- R_1 — rebaixamento na interrupção do bombeamento,

vamos verificar que entre os instantes T e $T + dT$, o poço com seção horizontal de área S perde o seguinte volume de água.

$$S \cdot dR = Q \cdot dT - q \cdot dT \quad (7)$$

Durante a recuperação para que o nível d'água passe da cota $R + dR$ para a cota R é necessário um tempo dT_n , de modo que:

$$S \cdot dR = q \cdot dT_n \quad (8)$$

Como duas quantidades iguais a uma terceira são iguais entre si, tiramos de (7) e (8):

$$q = Q \frac{dT}{dT + dT_n} \quad (9)$$

Nas proximidades de R_1 , onde $(a - R_1)$ e $(R_1 - c)$ são praticamente linhas retas, a equação (9) pode transformar-se na expressão (6).

CONCLUSÃO

O engenheiro pode lançar mão de vários processos de medição de descarga que lhe permitem, em pouco tempo e de modo fácil, definir com margem satisfatória de erro a capacidade dos mananciais de água num determinado dia do ano.

RECOMENDAÇÃO

Pela importância que assumem nos estudos para abastecimento d'água de cidades, os processos de medição de descarga devem ocupar um lugar de destaque nos compêndios e manuais que tratam desses estudos.