

## FATOR DE CORREÇÃO AUTOMÁTICO DE VAZÃO

### Fcl = Fator de correção Lamon

No livro "Pitometria e Macro medição, demonstrou-se que  $V = \sqrt{2g(H + \epsilon p)}$  para o tubo de Pitot Cole, onde  $\epsilon p$  é uma pequena parcela de energia devido ao arrasto ou sucção na ponta do Tip do Pitot lado a jusante. Sabe-se também que essa energia  $\epsilon p$  é uma função do quadrado da velocidade  $V_2$  que atua sugando o lado negativo ou a jusante do Tip. A pressão, assim como a velocidade fluídica tanto do lado a montante quanto do lado a jusante são iguais.

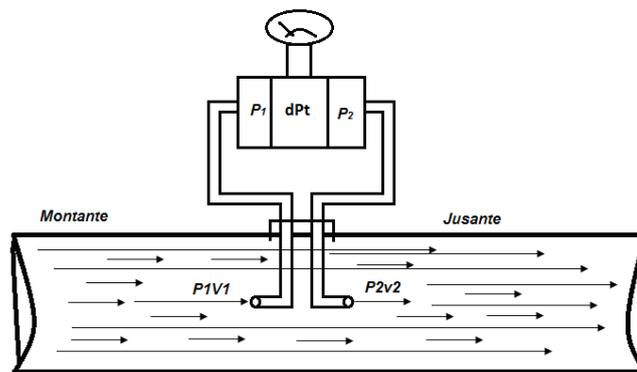


Fig. 1

Do lado do Tip a montante, temos o impacto do vetor velocidade  $V_1$  que se transforma em  $dP_1$ , sendo este uma forma de energia de pressão transformada. Do lado a jusante, temos o arrasto ou sucção que dá origem a energia de pressão negativa ou de sucção  $\epsilon p$ . Por ser negativa temos um ( $dPt$ ) total maior que aquele representativo puro da velocidade  $V = \sqrt{2g \cdot dP}$ . Aplicando a equação de Bernoulli, temos:

$P_1/\gamma + V_1^2/2g = P_2/\gamma + V_2^2/2g = \text{Konst.}$   $P_1 = P_2$  e  $V_1 = V_2$ . No impacto,  $V_1^2/2g$  dá origem ao  $dP_1$  que é uma energia de pressão positiva, logo,  $V_1^2/2g = dP_1$ . Na sucção, lado negativo,  $V_2^2/2g$  dá origem a  $\epsilon p$  ou  $dP_2$  que é uma pequena forma de energia de arrasto ou seja pressão negativa, então temos;  $P_1/\gamma + dP_1 - (P_2/\gamma - dP_2) = \text{Konst.}$ , ou seja,  $P_1/\gamma + dP_1 - P_2/\gamma + dP_2 = \text{Konst.}$

Então,  $\text{Konst.} = dP_1 + dP_2$ , logo podemos notar que o  $dPt$  que aparece na célula eletrônica transformando velocidade em pressão diferencial é maior que o real tendo como vilão o  $dP_2$ . Todavia, esse vilão é corrigido

ou retirado da medição de maneira fixa pelo fator de descarga do tubo de Pitot Cole (Kpc).  $V = Kpc \cdot \sqrt{2g \cdot dPt}$  .

Assim sendo, Kpc vale 0,865 para uma velocidade fluídica de 2,0 m/s. A 1,0 m/s o Kpc vale 0,876, assim como, a 3,0 m/s ele passa a valer 0,852.

Sabemos que se o dPt não for corrigido quando a velocidade varia, a medição de vazão estará severamente comprometida na razão de +/-1,4% quando a velocidade diminui de 2,0 m/s para 1,0 m/s assim como, o erro também será de +/- 1,4% quando a velocidade sobe de 2,0 m/s para 3,0m/s. O valor do Kpc igual a 0,865 é o default do tubo de Pitot Cole. Esse valor assim como os demais valores é determinado em laboratório de vazão na forma de um certificado. A tabela abaixo nos mostra a variação do Kpc com a velocidade.

**Tabela normal de uma calibração**

Veloc. m/s	Kpc
0,767	0,878
1,000	0,876
1,085	0,875
1,172	0,874
1,253	0,873
1,329	0,872
1,400	0,871
1,715	0,867
1,981	0,865
2,214	0,862
2,426	0,859
2,801	0,855

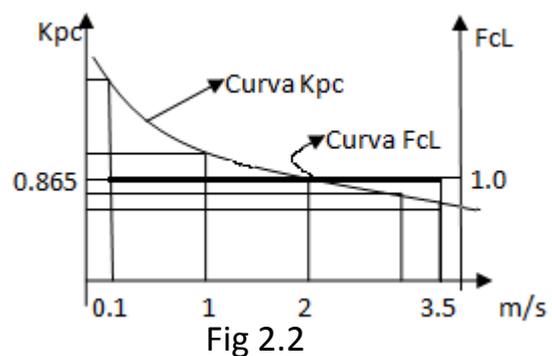
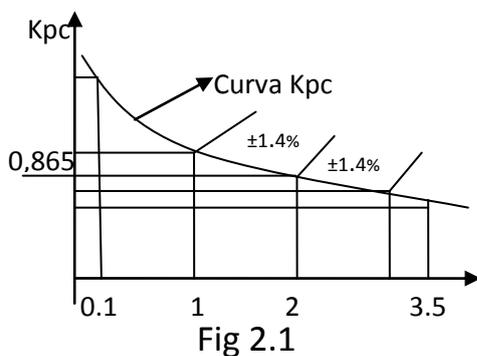
**Tabela A**

**Tabela expandida**

Veloc. m/s	Kpc	FcL
0,100	0,891	1,030
0,250	0,887	1,025
0,500	0,883	1,021
0,626	0,880	1,017
0,767	0,878	1,015
1,000	0,876	1,014
1,085	0,875	1,013
1,172	0,874	1,011
1,253	0,873	1,010
1,329	0,872	1,009
1,400	0,871	1,007
1,715	0,867	1,002
1,981	0,865	1,000
2,214	0,862	0,997
2,426	0,859	0,993
2,801	0,855	0,988
3,000	0,852	0,984
3,250	0,849	0,981
3,500	0,846	0,978

**Tabela B**

Nas Empresas de Saneamento, o erro de +/-2% é tolerável nas medições de vazão por Pitometria. Para se corrigir uma medição pontual e instantânea, mede-se a velocidade, busca na tabela a velocidade mais próxima da medida, retirando-se ali o Kpc corrigindo com ele a Vazão. A dificuldade e o tempo perdido nessa operação são grandes. Imagina-se agora a hipótese da vazão variar como é o caso das redes de abastecimento e, sendo a medição por um período maior envolvendo a eventual totalização, nessa hipótese, seriam impraticáveis as correções pontuais. Normalmente esse tipo de correção ainda não é realizado nas Empresas de Saneamento. Assim sendo, a medição e totalização em períodos prolongados ficam severamente comprometidas em termos de exatidão.



A figura 2.1 nos mostra a variação em gráfico do comportamento do Kpc com a velocidade e, o gráfico 2.2 a respectiva estabilidade do Kpc quando corrigido pelo FcL, permitindo-nos trabalhar e medir com o mesmo Kpc de 0,865 dentro dos limites de uma rangeabilidade de 35:1 sem limites de tempo ou períodos. Essa condição tornou-se possível pela tecnologia atual dos equipamentos de medição e o aperfeiçoamento dos programas de computador envolvendo permitindo-se medir com a correção do Kpc automatizado e em tempo real on line na Maleta modelo MDH600-300C ou posteriormente nos registros obtidos após o “Download” da Maleta para o programa MDHidro.

O Laboratório de Calibração certificador do Kpc do tubo de Pitot, via de regra, não oferece certificado de calibração com uma margem de variação maior que os valores extremos apresentados na tabela A. Todavia, como necessitamos de mais valores, estudamos a regressão da curva fornecida até aos limites superior de 3,5 m/s e, inferior de 0,1 m/s. Com essa nova

opção, pode-se observar que a rangeabilidade em termos de tabelamento passou para 35:1 ao invés de 3,5:1. Deve-se observar que o erro não corrigido dentro da rangeabilidade de 3,5:1 chega a +/-1,4% para cada lado em relação ao centro “default” do tubo de Pitot Cole que é de 2,0 m/s. Com a nova tabela B, construída implantou-se a mesma dentro do aplicativo do programa MDHidro 2,30. Esse aplicativo após receber o sinal do dPt, calcula a velocidade fluídica através de uma equação específica de velocidade, ( $V = \sqrt{2g \cdot dPt}$ ) ou opcionalmente pela equação de Cristino. Com a velocidade determinada, o programa busca na tabela o valor do Kpc equivalente colocando-o na formula acima, ( $V = Kpc \cdot \sqrt{2g \cdot dPt}$ ). Esse tipo de operação de correção, inicialmente operava com saltos ou degraus nos programas das maletas mais antigas cuja atuação era diretamente na velocidade. Atualmente, a operação de correção se processa de maneira continua “on line”, tanto na maleta Modelo MDH600-300C como no programa MDHidro 4.5 através da equação denominada “Fator de Correção Lamon”  $FcL = 0,0013x^4 - 0,0112x^3 + 0,037x^2 - 0,0648x + 1,0504$ , cuja atuação ou processo de correção acontece diretamente na vazão e, não mais na velocidade. Assim sendo, se a velocidade medida for de 2,0 m/s o Kpc vale 0,865 sendo esse valor uma constante do aplicativo da velocidade. Traduzindo esse valor para a equação FcL, que atua na vazão, seu valor vale 1,000 como pode-se notar na figura 2.2 ou tabela A. O fator de correção Lamon, é uma variável dinâmica, assim como o Kpc. Como um número puro, ele esta sempre variando com a variação da velocidade. A formula de vazão final de uma medição realizada com a Maleta MDH600-300C ou mesmo com o programa MDHidro 4.5 contempla a seguinte equação,  $Q = Sef \cdot Kd \cdot Kp \cdot Ft \cdot Fg \cdot Vc \cdot FV \cdot Fcl$ .

**Nomenclatura adotada nesse artigo:**

g = Aceleração da gravidade local

H = energia de pressão impactante no Tip.

$\epsilon p$  = energia de pressão na sucção

V = velocidade m/s

Kpc = constante de descarga do tubo de Pitot Cole

Kc = constante da Estação Pitometrica,  $EP = Sef \cdot Kd \cdot Kp \cdot Ft \cdot Fg \cdot FV$  (m<sup>2</sup>)

Sef = Área Efetiva, (m<sup>2</sup>)

Kd = Correção do diâmetro, (n. puro)

Kp = Correção de introdução do Tap, (n. puro)

Ft= Correção da temperatura do fluido, (n. puro)  
Fg= Correção da aceleração da gravidade local, (n. puro)  
FV= Fator de correção da velocidade, (n. puro)  
Vc= Velocidade central do fluido (m/s)  
P = pressão do fluido (mCA)  
V = Velocidade fluídica (m/s)

Autor Eng<sup>o</sup>. Geraldo Lamon - agosto 2004  
Revisão - janeiro de 2013