DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE ESGOTO OU EFLUENTES EM REGIME CONTINUO

O objetivo desse artigo é mostrar, divulgar e confirmar, o desenvolvimento das três fórmulas de autoria do Eng. Geraldo Lamon aplicadas ao processo da medição continua "on line". Tais fórmulas se justificam devido à sua necessidade da medição e registro contínuo e histórico, dentro do programa de gerenciamento de vazão de esgoto, efluentes industriais e ou água bruta para as Empresas em geral. O estudo, dedução, desenvolvimento e formatação das fórmulas se tornaram extremamente necessárias, pois não existiam até ao presente momento fórmulas capazes de continuamente acompanhar a variação de altura do lençol vazante em vertedor circular, canal livre circular, coletor de esgoto tipo manilha, canal livre retangular ou quadrado.

A incorporação das três fórmulas deduzidas veio complementar as já existentes, como por exemplo, a do canal de Parshall, vertedor retangular, triangular, entre outras que já faziam parte do cálculo de vazão e totalização do programa automático MDE 1.0 (medição, registro e totalização de esgoto e água bruta). No caso particular do esgoto ou água bruta barrenta, com muitos sólidos em suspensão, não é recomendada a medição contínua e prolongada com vertedor

As fórmulas antes existentes para medição do esgoto em manilha ou canal livre circular ou retangular, foram formatadas no passado, considerando duas situações de vazão, manilha cheia ou seção plena ou meia seção, (fórmula de Bazin, Chezy, Ganguillet-Kutter, dentre outros). Ganguillet-Kutter avançaram um pouco mais apresentando resultados de cálculo para manilha com 1/2 seção, 2/3 da seção e 3/4 da seção, além de cheia. Os resultados por eles apresentados, estão perfeitamente corretos, porém, em pontos muito limitados. Todavia, fora desses limites ou valores, o registro ainda não foi evidenciado de maneira prática e continua, talvez por dificuldades de cálculo automático e, com medição em tempo real. As variáveis envolvidas no cálculo, principalmente o raio hidráulico, uma das principais, é de difícil calculo quando manual.

O raio hidráulico de um canal livre circular ou de uma manilha é igual a 0,5R quando se está com o nível exatamente no centro ou com o nível ocupando exatamente toda a área circular. Fora desses dois pontos característicos, o raio hidráulico assume valores completamente diferentes para cada altura do nível vazante, portanto, o raio hidráulico R_H assume o perfil de uma curva crescente passando pelo centro do círculo onde assume o valor de 0,5R, cresce e depois decresce assumindo novamente o valor de 0,5R, quando atinge o diâmetro nominal do círculo.

Tratando-se de vertedor circular, desenvolvemos e formatamos a equação diferencial integral para o respectivo cálculo da vazão equivalente a altura do lençol vazante, porém, a integral está ainda indefinida quanto a sua solução literal.

Vejamos a sua formatação:

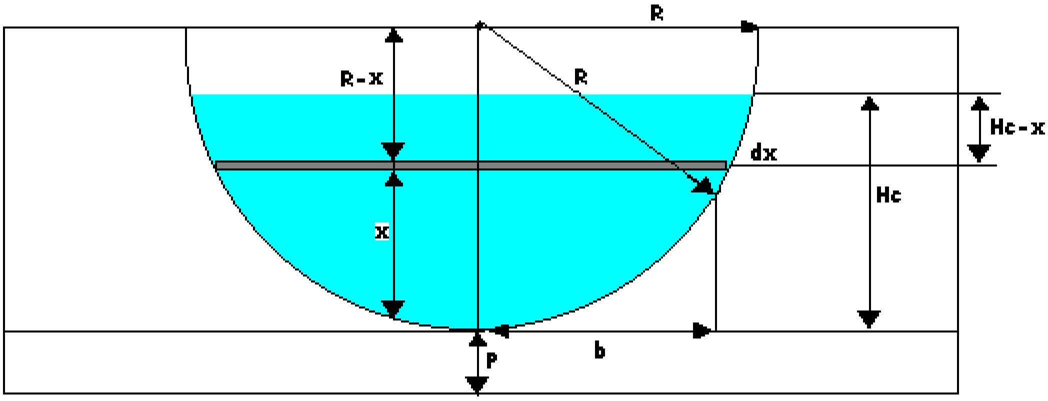


Fig. I – Vertedor Circular

$$b=\sqrt{R^2-(R-x)^2}=\sqrt{2Rx-x^2}$$

$V=\sqrt{2g(H_C-x)}$ V = Velocidade de queda do fluído passante para vertedor

$ds = b.dx \longrightarrow dQ = V.ds = \sqrt{2g(H_C - x)}.b.dx$

$d\theta=\sqrt{2g(H_C-x)}.\sqrt{2Rx-x^2}.dx \longrightarrow Q=\sqrt{2g}\int\sqrt{(R-x)(2Rx-x^2)}.dx$

Sendo x variando de 0 a Hc

Posteriormente, multiplicaremos essa integral por 2 por que a sua formatamos contemplou apenas a metade do vertedor que é o lado "b" da figura acima. Como a solução dessa integral ainda não foi encontrada, estamos buscando outra solução, a qual leva em consideração o raio hidráulico do lençol vertente pelo vertedor circular. Assim sendo, sabemos que a área passante de um lençol fluídico qualquer, pelo vertedor circular, denomina-se área molhada Am, que é a área do escoamento na seção transversal do vertedor. Seu valor Am é igual a;

$$Am=\frac{R^2}{2}.(\theta-\operatorname{sen}\theta)$$

Da mesma forma, o perímetro dessa mesma área fluídica, que é o contorno que limita a seção molhada, denominado perímetro molhado, vale; $Pm=R.\theta$

A figura II ilustra tais afirmações.

Daí, definiu-se raio hidráulico "R_H", como sendo a relação entre a área molhada e o perímetro molhado, "Pm". Portanto, $R_H=\frac{Am}{Pm}$. Existem dois casos particulares, onde o raio hidráulico é idêntico. O primeiro é quando o "Hc" atinge a linha de centro da circunferência, ou seja, Hc=D/2 = R. O segundo caso é quando o "Hc" atinge a altura plena, ou seja, "Hc"= D. Nesses dois casos, o R_H vale 0,5D.

Exemplo: $R_H = \frac{Am}{Pm} = \frac{\pi/2.R^2}{2\pi R/2} = \frac{R}{2} = \frac{D}{4} =$ Semicírculo Cheio.

$R_H = \frac{Am}{Pm} = \frac{\pi . R^2}{2\pi . R} = \frac{R}{2} = \frac{D}{4} =$ Círculo Cheio.

Para valores diferentes dos pré-definidos, onde o Hc pode assumir qualquer outro valor, inclusive o caso particular, a formatação existente ou fixa, não atende, portanto, temos que generalizar a equação do R_H para qualquer caso. Estamos mostrando essa situação agora analisada, porque talvez tenha sido dessa forma que em 1790 ou 1890, época na qual os estudiosos desse assunto, não dispondo de sistemas de cálculos computadorizados e, ou em tempo real, calcularam a vazão definindo apenas soluções para a manilha cheia, manilha com meia seção, dois terços e três quartos de seção.

Cálculo da área molhada Am, Pm e R_H em função do H_C variável.

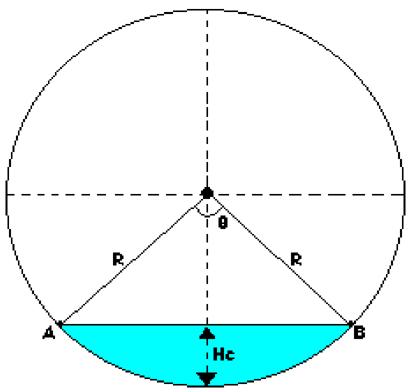


Fig. II

Na figura II, podemos observar que a área molhada é a área do setor sob o ângulo θ menos a área do triângulo isósceles OAB, ou seja;

$$Am = \pi . R^2 . \frac{\theta}{2\pi} - \frac{R^2}{2} . \operatorname{sen}\theta$$

$$Am = \frac{R^2}{2} . (\theta - \operatorname{sen}\theta) = Área . Molhada$$

O Perímetro molhado, é o arco AB que vale;

$$Pm = R . \theta$$

Como por definição $R_H = \frac{Am}{Pm}$, chegaremos então a uma equação geral, satisfazendo a qualquer condição de nível ou altura de Hc do sistema em medição.

Então: $R_H = \frac{Am}{Pm} = \frac{\frac{R^2}{2}(\theta - \operatorname{sen}\theta)}{R . \theta}$

Simplificando: $\boxed{R_H = \frac{R}{2} . \left(1 - \frac{\operatorname{sen} \theta}{\theta}\right)}$

Essa equação satisfaz a qualquer condição de Hc, desde que conheçamos o ângulo θ. Para os dois casos particulares de Hc = D e Hc = D/2 = R, temos, como mostra a figura 3

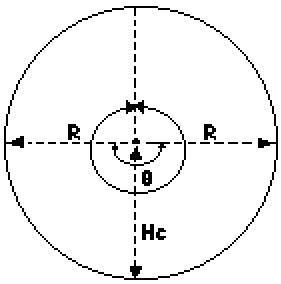


Fig. III

Hc = R ; θ = 180°

$$R_H = \frac{Am}{Pm} \rightarrow R_H = \frac{R}{2}\left(1 - \frac{\operatorname{sen} . \theta}{\theta}\right) = \frac{R}{2}\left(1 - \frac{0}{180}\right) = \frac{R}{2} = \frac{D}{4}$$

Para: Hc = D ; θ = 0 ou 360°

$$R_H = \frac{Am}{Pm} = \frac{R}{2}\left(1 - \frac{\operatorname{sen} . \theta}{\theta}\right) = \frac{R}{2}\left(1 - \frac{0}{0}\right) = \frac{R}{2} = \frac{D}{4}$$

Por outro lado, temos que conhecer as variações do ângulo θ com a variação de altura do nível do lençol vazante, medindo o Hc. Assim sendo, podemos afirmar que o ângulo θ, visto na figura II, vale em função de Hc;

$$\theta = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{H_C}{R}\right)$$

Generalizando a fórmula de $R_H = \frac{Am}{Pm} = \frac{R}{2}\left(1 - \frac{\operatorname{sen} \theta}{\theta}\right)$ e substituindo nela o valor do ângulo θ, temos;

$$R_H = \frac{R}{2}\left\{1 - \frac{\operatorname{sen}\left(2\cos^{-1}\left(1 - \frac{H_C}{R}\right)\right)}{2\cos^{-1}\left(1 - \frac{H_C}{R}\right)}\right\}$$

Exemplificando os casos particulares para;

Hc = R , θ = 180°

$$R_H = \frac{R}{2}\left\{1 - \frac{\operatorname{sen}\left(2\cos^{-1}.0\right)}{2\cos^{-1}.0}\right\} = \frac{R}{2}\left(1 - \frac{0}{180}\right) = \frac{R}{2} = \frac{D}{4}$$

Hc = D = 2R , $\theta = 0^o$

$$R_H = \frac{R}{2}\left\{1 - \frac{\operatorname{sen}\left(2\cos^{-1}\left(1 - \frac{2R}{R}\right)\right)}{2\cos^{-1}\left(1 - \frac{2R}{R}\right)}\right\} = \frac{R}{2}\left\{1 - \frac{\operatorname{sen}\left(2\cos^{-1}(-1)\right)}{2\cos^{-1}(-1)}\right\}$$

$$R_H = \frac{R}{2}\left\{1 - \frac{\operatorname{sen}(2.180)}{2.180}\right\} = \frac{R}{2}\left\{1 - \frac{0}{360}\right\} = \frac{R}{2} = \frac{D}{4}$$

Como podemos ver, os dois casos particulares são também confirmados na formula geral trigonométrica.

<u>Determinação da fórmula para o vertedor circular.</u>

Voltando a situação inicial que é a formatação da equação para o vertedor circular, temos na figura I as seguintes dimensões:

P = Altura da Crista
Hc = Nível de Carga
R = Raio do Vertedor

A velocidade de caída ou queda do fluído no vertedor é maior junto a sua crista, diminui até zero na superfície livre superior do mesmo ou do fluído, descrevendo uma semicurva de velocidade. Esse fato, podemos provar claramente furando com certo espaçamento e, em alinhamento, uma lata, desde o seu fundo até a sua borda superior. Mantendo essa lata cheia de água, observaremos que o furo da base terá maior velocidade, jorrando mais distante do que seu sucessor de cima e assim sucessivamente até ao último que nivelado com a superfície do fluído, não verterá ou jorrará, ou seja, sua velocidade será zero. Daí pode-se concluir que o fluído no vertedor fica sujeito à sua própria coluna de pressão e a aceleração da gravidade.

Assim sendo, temos que a velocidade nos vários pontos determinados com furos, passa de um valor máximo na base do vertedor a um valor zero na superfície. O valor médio dessas velocidades será a média da soma das velocidades individuais. Então, na crista do vertedor a velocidade teórica vale:

$$V=\sqrt{2\,gH_C}$$

Na superfície superior do fluido, ou seja, no seu represamento para a queda, sua velocidade tende a ser zero.

A equação de velocidade $V=\sqrt{2\,gH_C}$, descreve uma curva que tem um perfil característico, quadrático. Por outro lado, sabe-se que a velocidade no contato físico com o perímetro molhado do vertedor, no limite do contato, a velocidade também é zero devido a rugosidade do vertedor, viscosidade do fluido e ao atrito com a parede do mesmo, dai a necessidade de um fator de correção abrangente, incorporando em alguns casos a velocidade de aproximação do fluido, assim como o seu perfil de velocidade. Inicialmente, vamos considerar que o fator de correção “C” tenha uma valor C=1,00

Assim sendo, a vazão "Q" será:

$Q=Am.C\sqrt{2\,gH_C}$ $\longrightarrow$ Equação LAMON para vertedor circular.

Am, que é a área molhada, já foi definida anteriormente e, vale, $Am=\frac{R^2}{2}.(\theta-\operatorname{sen}\theta)$. Por outro lado, $\theta=2\cos^{-1}\left(1-\frac{H_C}{R}\right)$. Então, literalmente a equação LAMON para o vertedor circular será:

$$Q=\frac{R^2}{2}.\left\{2.\cos^{-1}\left(1-\frac{H_C}{R}\right)-\operatorname{sen}\left(2.\cos^{-1}\left(1-\frac{H_C}{R}\right)\right)\right\}.C.\sqrt{2\,gH_C}$$

Sendo;
Q = vazão em m^3/s;
g = aceleração da gravidade local; (m/s^2)
C = coeficiente de correção de vazão no vertedor;
R = raio do vertedor; (m)
Hc = altura medida a partir da crista ou soleira do vertedor. (m)

OBS: O fator ou o coeficiente "C" deve ser ainda melhor estudado e investigado em laboratório de vazão. Seu valor teórico é possível de ser calculado, porém com um grau de incerteza bem grande. Todavia, a melhor solução é determiná-lo na prática e, com certeza seu valor será mais exato e, bem menor do que 1,0.
Vamos exemplificar uma metodologia fácil de determiná-lo. Por exemplo, numa das células de flotação ou filtragem de uma estação de tratamento que por ocasião de sua manutenção ou limpeza, pode ser manipulada, esvazia-se uma delas e faz-se

passar uma determinada vazão pelo vertedor circular, direcionando tal vazão para aquela célula. Mede-se e totaliza a vazão escoando pelo vertedor pelo programa MDE 1.0. Na célula utilizada como reservatório, marca-se a referência inicial e dispara-se o cronômetro. Quando o nível na célula atingir o ponto superior fecha-se o cronômetro. Calcula-se o volume na célula e a sua vazão média correspondente. No programa MDE 1.0 tem-se a vazão e a totalização naquele período. Dividindo o volume ou a vazão encontrada na célula, pelo volume ou vazão encontrada pelo programa, tem-se o valor exato do coeficiente "C" para aquele vertedor.
A fórmula e o cálculo automático de “R_H” e da vazão para o vertedor circular esta no aplicativo do programa MDE1.0. Na pratica, o valor do coeficiente “C” pode variar entre 0,682 ate 0,735.

Determinação da fórmula de vazão para canal livre circular ou manilha.

Até ao presente momento, estudamos, analisamos e formatamos a fórmula para o vertedor circular, onde a declividade do canal não faz sentido sua consideração, pois o vertedor qualquer que seja ele, colocando contra o fluxo do canal, nivela-o automaticamente na altura de sua crista ou soleira, caindo gravitacionalmente a medida o nível “Hc” se eleva. Na hipótese de um canal livre, nas formas geométricas, circular, retangular ou quadrado, a sua declividade ou caimento natural, é um dos parâmetros de maior importância no cálculo da vazão.

Recordando e aproveitando a equação de Chezy, uma das mais utilizadas por ter sido experimentada em canais circulares ou manilhas, cheia ou simplesmente com meia seção, desde pequenas seções até grandes dutos, os resultados obtidos naqueles ensaios da época foram muito satisfatórios, temos:

$V = C\sqrt{R_H . I}$ Equação inicialmente proposta por Chezy

Historicamente o aparecimento da fórmula $V = R_H^{2/3} . \frac{\sqrt{I}}{\lambda}$ surgiu quando Chezy afirmou que a velocidade do fluído em um canal livre circular ou manilha seria $V = C\sqrt{R_H . I}$. Posteriormente, Manning resolveu um dos grandes problemas dessa fórmula, introduzindo a solução para o fator "C", quando também afirmou que

$$C = \frac{R_H^{1/6}}{\lambda}$$

A expressão $R_H^{2/3} . \frac{\sqrt{I}}{\lambda}$ complementou a fórmula de Chezy é a velocidade de descida do fluído no canal circular.

Assim, a equação de Chezy para a velocidade passou a ser $V = R_H^{2/3} . \frac{\sqrt{I}}{\lambda}$. Acrescentando a área molhada "Am" nessa equação de velocidade temos a vazão.

$$Q = AR_H^{2/3} . \frac{\sqrt{I}}{\lambda} \longrightarrow$$ Equação de Chezy com o coeficiente de Manning.

Desta forma, como já deduzimos a equação de determinação do Raio Hidráulico ponto a ponto em função do Hc, resta-nos agora, acrescentar na fórmula de Chezy não mais a área fixa de plena seção ou meia seção, más sim a área molhada "Am" variando em função do Raio Hidráulico que por sua vez varia em função do Hc. Desta forma, como já sabemos que $R_H = \frac{Am}{Pm}$, portanto $Am = R_H . P_m$, ou seja, $Am = R_H . R\theta$ assim teremos;

$$Q = Am . R_H^{2/3} . \frac{\sqrt{I}}{\lambda}$$ ou $$Q = R_H . R . \theta . R_H^{2/3} . \frac{\sqrt{I}}{\lambda} \longrightarrow$$ simplificando teremos:

$$Q = R . \theta . R_H^{5/3} . \frac{\sqrt{I}}{\lambda} \longrightarrow$$ Equação LAMON para canal livre circular ou manilha

Sendo;

Q = vazão em m^3/s

θ = ângulo de abertura do perímetro molhado, onde $\theta = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{H_C}{R}\right)$

R_H = raio hidráulico, onde $R_H = \frac{R}{2}\left\{1 - \frac{\operatorname{sen}\left(2 . \cos^{-1}\left(1 - \frac{H_C}{R}\right)\right)}{2\cos . \cos^{-1}\left(1 - \frac{H_C}{R}\right)}\right\}$

$\sqrt{I}$ = declividade da manilha ou canal, (m/m).

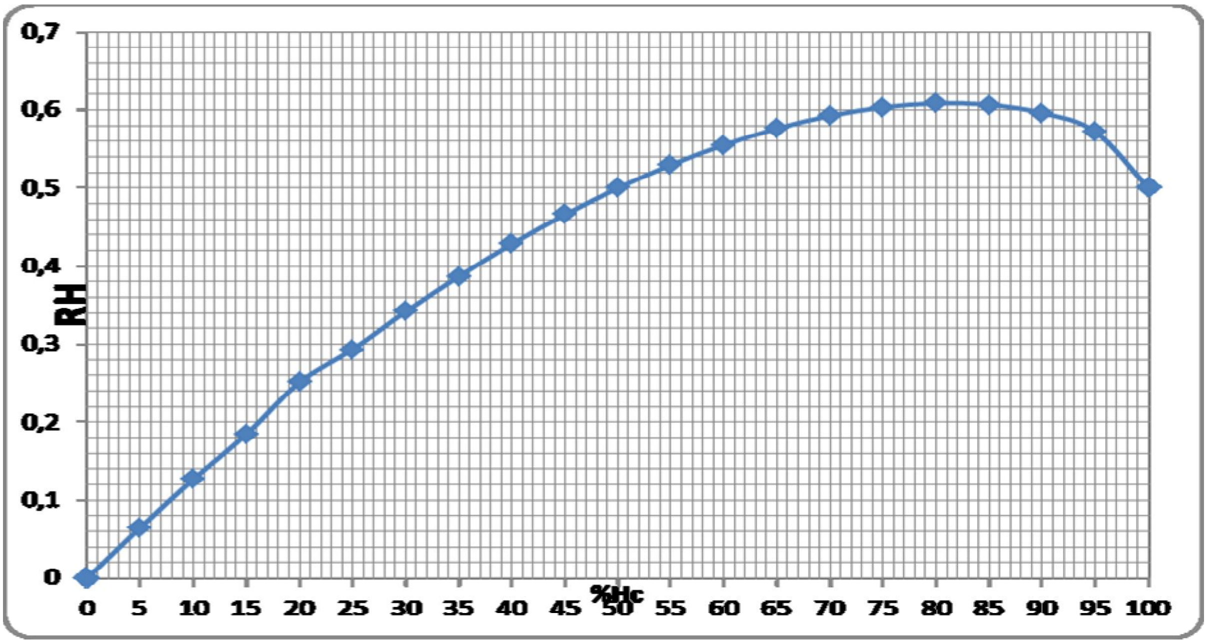
λ = rugosidade da manilha ou canal.

O Hc é medido pela sonda introduzida no canal e, o R_H é calculado pela fórmula já deduzida e colocada no processo interno de cálculo do programa MDE 1.0. Com a finalidade de ilustrarmos as variações de R_H com o H_C, tabelamos 20 pontos em percentual mostrando as variações do R_H e seu respectivo gráfico.

Variação do R_H com o H_C			
%H_C	**R_H**	**%H_C**	**R_H**
0	0,0000	55	0,5298
5	0,0651	60	0,5553
10	0,1270	65	0,5763
15	0,1850	70	0,5925
20	0,2512	75	0,6034
25	0,2933	80	0,6085
30	0,3419	85	0,6065
35	0,3870	90	0,5961
40	0,4285	95	0,5720
45	0,4662	100%	0,5000
50	0,5000	---------	--------

Fig. IV – Tabela H_C/R_H

Fig. IV- Gráfico da tabela H_C/R_H



Canal livre retangular e ou quadrado

Da mesma forma, podemos equacionar ou formatar uma nova fórmula para a medição contínua, em canal livre retangular, já que conhecemos a área molhada passante, ou escoante.
A figura 5 nos mostra o perfil transversal de um canal retangular.

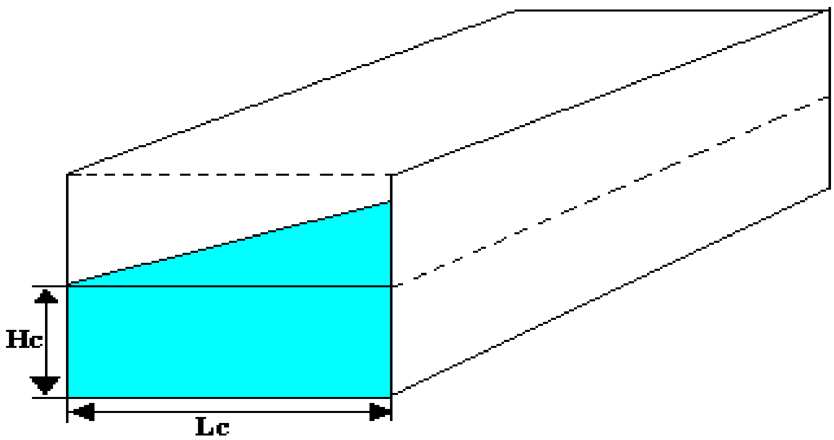
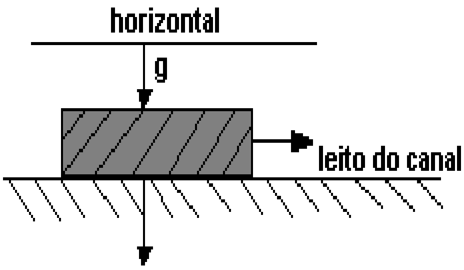


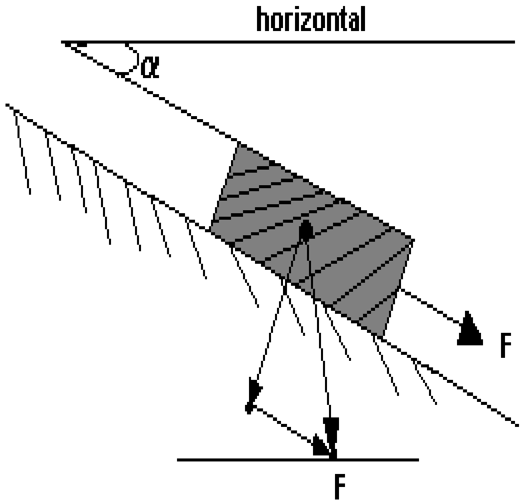
Fig. V

$$Q = Am . R_H^{2/3} . \frac{\sqrt{I}}{\lambda} = L_C . H_C . R_H^{2/3} . \frac{\sqrt{I}}{\lambda}$$

Equação LAMON para canal livre retangular.

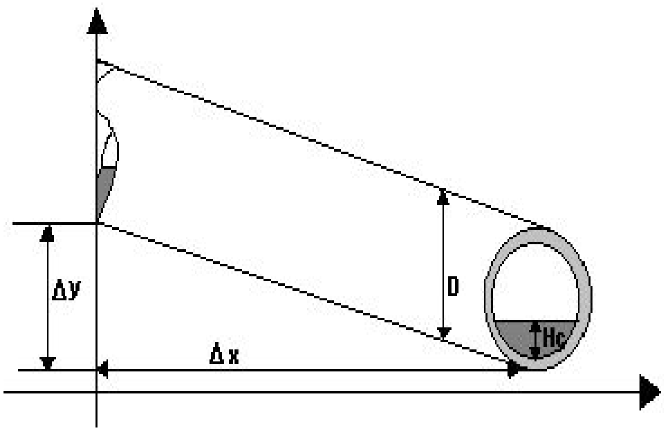
Para a especificidade do canal retangular, ou no caso particular de um canal quadrado, o raio Hidráulico é calculado, automaticamente, dentro do programa MDE 1.0 e, é a seguinte fórmula: $R_H = \frac{H_C . L_C}{2H_C + L_C} = \frac{Am}{Pm}$. Sendo o canal quadrado e estando a plena carga, o $R_H = L_C/3$. Há, de se observar que, quando o canal for quadrado, fechado e, o fluido estiver a plena carga, ou seja, tocando na superfície superior do canal (teto), haverá uma descontinuidade no raio hidráulico nesse ponto, onde ele passará a valer $R_H = L_C/4$.
Resumindo, a declividade "I" do canal acelera a sua velocidade, enquanto a rugosidade "λ" tende a frear a sua descida ou a aceleração.
Olhando a Fig. 6A e 6B, percebemos que na figura nivelada, o fluido tende a se equilibrar naturalmente em termo de cota ou desnível entre suas partículas e, após.





. Fig. VI A Fig. VI B

Nivelar-se no leito do canal, sua velocidade torna-se zero, pois a declividade "I"=0, portanto, vazão será zero.
Na figura 6B, o fluído acelerará pelo agente vetorial da força "F" que é uma componente de aceleração da gravidade local atuante.



$$I = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$ declividade

Fig 7

Sabemos que a declividade tende a acelerar o fluído, assim como a rugosidade tende a freá-lo. Sabemos também que se o canal estiver nivelado, a força "F" de aceleração é zero, o que fará com que a vazão caia para zero automaticamente. Por outro lado, se o fluído fosse ideal e o canal também, ou seja, fluído sem viscosidade, e canal sem qualquer rugosidade, por menor que fosse a declividade, o fluído se aceleraria levando sua velocidade teórica para infinito.

Vamos aproveitar este trabalho para citar um caso muito prático e verídico. Em Belo Horizonte, o canal do Rio Arrudas que corta a cidade, em determinado trecho de aproximadamente dois quilômetros, entre Dom Cabral até próxima a Avenida Barbacena, seu percurso está pessimamente acabado com pedras irregulares depositadas em seu leito em toda essa extensão, bem como pedras e vigas proeminentes nas faces laterais. Analisando esta situação podemos sem medo de errar, considerar uma rugosidade de $\lambda = 0{,}070$. Assumindo uma declividade I = 0,005, calcularemos a vazão através do Programa MDE 1.0 para um canal livre retangular de proporções bem menores, onde teríamos uma vazão Q = 198,6 l/s. Retirando todas as pedras do leito e das faces do canal dando-lhe um acabamento com cimento grosso desempenado, com certeza a sua rugosidade cairia para $\lambda = 0{,}030$ ou melhor. Recalculando a vazão através do programa acharíamos Q = 463,3 l/s. Como podemos observar pelo resultado, a vazão tornou-se 2,3 vezes maior naquele trecho particular. Portando houve uma grande melhoria na descida da água. Solução simples e barato, que resolveria um grande problema de vulnerabilidade de inundação neste trecho em particular.

Conclusão.

Esperamos que a partir desse trabalho, com o desenvolvimento complementar das três fórmulas citadas, também inseridas no programa MDE 1.0 (Medição de Esgoto e Água Bruta), formatado e preparado de forma simples e amigável para o cálculo da vazão e totalização, apresentando gráfico, planilhas, assim como um segundo gráfico extra como opção de relatório final.

Desta forma, cremos ter contribuído de maneira cientifica e principalmente prática para melhorar a performance e principalmente a agilidade requerida na busca de medições sustentáveis, tecnicamente corretas e confiáveis sob o ponto de vista da incerteza.

Agradecemos sua apreciação, estudo e análise desse assunto. Toda e qualquer crítica, sugestões com a finalidade de melhorar e expandir nosso trabalho será bem-vinda e bem recebida. Outrossim, informamos que a fórmula da Manilha, assim como a formula do Canal Retangular, foi testado e comprovado na COPASA, frente ao Medidor de Parshall, instalado na sequencia. Os resultados foram quase que absolutos.

Nossos Agradecimentos,

Geraldo Lamon
Abril 2003
Artigo reeditado em novembro 2013

Resumo das fórmulas utilizadas no programa

Elemento Primário	**Fórmula**	**Autor**
Vertedor Retangular	$Q = 1.838 . LC \sqrt{H_C^3}$	Francis
Vertedor Triangular θ de 60º à < 90º	$Q = 1.367 \sqrt{H_C^5}$	Thompson
Vertedor Triangular θ = 90º	$Q = 1.40 \sqrt{H_C^5}$	Thompson
Vertedor Trapezoidal	$Q = 1.860 . LC \sqrt{H_C^3}$	Cipoletti
Vertedor Circular	$Q = Am . C . \sqrt{2 gH_C}$	G. Lamon
Canal Livre Circular	$Q = R . \theta . R_H^{53} \frac{\sqrt{I}}{\lambda}$	G. Lamon
Canal Livre Retangular	$Q = L_C . H_C . R_H^{23} \frac{\sqrt{I}}{\lambda}$	G. Lamon
Canal Parshall	$Q = K . H_C^n$	Parshall
Canal Parshall	$Q = 2.18 . L_C . H_C^{1.50}$	Azevedo Netto
Vertedor circular	$Q=1{,}518.D^{0{,}693}.H_C^{1{,}807}$	Autor desconhecido

- ✓ Lc = Largura da crista ou soleira do vertedor (m);
- ✓ Hc = Altura do nível da lâmina vazante (m);
- ✓ C = Constante OU COEFICIENTE DE CORREÇÃO
- ✓ R_H = Raio Hidráulico: Seu valor é calculado automaticamente dentro do programa. Sua unidade de medida é o metro. Ele vale exatamente:

A) - Para canal circular: $$R_H = \left[\frac{R}{2} . \left(1 - \frac{\operatorname{sen}\left(2\cos^{-1}\left(1 - \frac{H_C}{R}\right)\right)}{2 . \cos^{-1}\left(1 - \frac{H_C}{R}\right)} \right) \right]$$

B) - Para canal retangular: $R_H = \dfrac{L_C \,.\, H_C}{2\mathrm{H}_C + L_C}$

C) - Para canal quadrado: $R_H = \dfrac{L_C . H_C}{2\mathrm{H}_C + L_C}$

K = Constante tabelada para cada tamanho padronizado de canal de Parshall..
n = Constante tabelada para cada tamanho padronizado de canal de Parshall .
I = Declividade do canal, a unidade é metro por metro de canal. (m/m)
λ= Rugosidade do canal, valor tabelado para cada tipo de canal.

VISÃO DAS TELAS DO PROGRAMA MDE 2.0 -MEDIÇÃO DE ESGOTO

VISÃO DAS TELAS DO PROGRAMA MDE 2.0 -MEDIÇÃO DE ESGOTO