

## CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS NA BUSCA POR MÉTODOS DE ESTUDO DA PERDA DE CARGA

VANISCLEY HENICKA<sup>1</sup>  
NORMANDES ANTONIO DE SOUSA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil, UNIFAP, Macapá – AP; [v\\_henicka@hotmail.com](mailto:v_henicka@hotmail.com)

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Civil, UNIFAP, Macapá – AP, [normandes.sousa@gmail.com](mailto:normandes.sousa@gmail.com)

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
Palmas/TO – Brasil  
17 a 19 de setembro de 2019

**RESUMO:** Apesar dos conhecimentos consagrados em relação as perdas de cargas em sistemas hidráulicos, a problemática ainda rende diversas pesquisas que buscam melhorar ou facilitar os métodos para se chegar a resultados práticos relevantes. A perda de carga no escoamento de fluidos líquidos é uma característica observada pela perda de energia cinética. Projetos de dimensionamento hidráulico sempre esbarram na perda de carga que está ligada diretamente a eficiência energética. Dos principais métodos de cálculo de perda de carga, destaca-se: Método de Moody-Rouse; Método de Wazen-Williams e Método de Darcy-Weissbach. Pesquisas envolvendo análise da influência das dimensões, da rugosidade, das viscosidades, velocidades e análises sobre método de cálculo dos softwares apresentam considerações específicas quanto a aplicabilidade prática. Longe ainda de se ter um modelo de aferição universal, tem se buscado desenvolver métodos que sejam eficientes e buscam similaridade dos cálculos teóricos com os obtidos nas experimentações práticas. A perda de carga ainda que solidamente embasada no conhecimento teórico já desenvolvido tem amplo espectro de possibilidades de pesquisa dada sua complexidade de aferição dos fatores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Perda de carga; Eficiência Energética; Projeto hidráulico; Escoamento hidráulico. Instalações Hidráulicas.

### **THEORETICAL AND PRACTICAL CONSIDERATIONS IN SEARCH FOR METHODS OF STUDYING CARGO LOSS**

**ABSTRACT:** Despite the knowledge already acquired regarding the losses of loads in hydraulic systems, the problem still yields several researches that seek to improve or facilitate the methods to reach the relevant practical results. Hydraulic design projects always bump into the loss of load that is directly linked to energy efficiency. The loss of load in the flow of liquid fluids is a characteristic observed by the loss of kinetic energy. Of the main methods of calculation of loss of load, stands out: Method of Moody-Rouse; Wazen-Williams method and Darcy-Weissbach method. Researches involving the analysis of the influence of dimensions, roughness, viscosities, velocities and considerations on software calculation method present specific considerations regarding the practical applicability. Far from having a universal calculation model, we have tried to develop methods that are efficient and look for similarity of the theoretical calculations with those obtained in the practical experiments. The loss of load, although solidly based on the theoretical knowledge already developed, has a broad spectrum of research possibilities given its complexity of factor measurement.

**KEYWORDS:** Cargo loss; Energy efficiency; Hydraulic design; Hydraulic flow. Hydraulic instalations.

### **INTRODUÇÃO**

Apesar dos densos conhecimentos teóricos consagrados em relação as perdas de cargas em sistemas hidráulicos, a problemática ainda rende diversas pesquisas que buscam melhorar ou facilitar os métodos para se chegar a resultados práticos relevantes. Nesse processo ainda temos muita dificuldade com a vinculação entre teoria e aferição prática dos fatores que a teoria depende.

A perda de carga no escoamento de fluidos líquidos é uma característica observada pela perda de energia cinética. Essa perda de energia é devida a diversos fatores que precisam ser aferidos na prática como as características dinâmicas do fluido, seu movimento na seção transversal onde as moléculas fluem, as velocidades diversas das camadas imediatamente vizinhas. Presume-se também um atrito com a parede interna do duto. Logo precisamos conhecer as características dimensionais da tubulação em cada trecho analisado e outros fatores como o material que essa tubulação foi confeccionada, a tecnologia construtiva, técnicas de emendas, condições de degradação interna do tubo, bem como os obstáculos no percurso do fluido.

Na prática a perda de carga tem sua importância na observação de uma redução na pressão final e implica drasticamente no planejamento de estruturas hidráulicas sendo a habilidade de quantificar apropriadamente essa perda de carga de suma importância para o dimensionamento hidráulico. Projetos de dimensionamento hidráulico sempre esbarram na perda de carga, principalmente quando se observa cada vez mais o uso de sistemas pressurizados que demandam consumo de energia elétrica. Portanto um melhor dimensionamento levando em conta a inevitável perda de carga contribui sobremaneira para a eficiência no consumo de energia.

Para entender a perda de carga é importante saber que diversos fatores a influenciam e que o desenvolvimento matemático para a solução desse problema envolve aferição e quantificação de cada um destes fatores. Muitas vezes é difícil de se obter um número que representa especificamente cada fator sendo este um campo muito pesquisado e baseado em experimentações práticas que deram origem a tabelas e ábacos de valores com aplicabilidade em situações específicas que requerem cuidados na interpretação.

Algumas vezes as aplicações práticas da base teórica são conflitantes devido ao método teórico de cálculo ou destino do projeto, e outras vezes porque cada modelo aplica maior ou menor grau de meticulosidade em determinado fator.

Comum a todos estudos é a necessidade de se conhecer as características do fluido, as características dimensionais dos dutos e as características das condições internas das paredes dos dutos, bem como a velocidade de escoamento. Dos principais métodos de cálculo de perda de carga, destacam-se: Método de Moody-Rouse; Método de Wazen-Williams e Método de Darcy-Weissbach. Todos dependentes de aferições práticas de fatores.

O conhecimento destes fatores é um dos direcionamentos atuais das pesquisas em perda de carga que implicam em algumas dificuldades e considerações.

## **DESENVOLVIMENTO**

Diante dos métodos tradicionais de cálculo de perda de carga, é campo fértil as observações e ponderações quanto à aplicabilidade prática como veremos em alguns estudos.

### **Fator dimensional**

Mesmo em se tratando do simples fator dimensional da tubulação, muitas pesquisas têm sido feitas nesse sentido condicionando que a própria tubulação não se comporta de maneira rígida tendo, portanto, variação de diâmetro com a variação de pressão em alguns sistemas. Sistemas com o uso de polietileno de baixa densidade sofrem alterações nos diâmetros internos, em virtude de variações na pressão de operação podendo ocasionar variações nas perdas de carga superiores a 20%, especialmente em um sistema de irrigação onde altas pressões estão envolvidas com tubulações de pequeno diâmetro e maior flexibilidade. (Andreoli et al., 2003).

Ainda como exemplo da busca por novas abordagens no entendimento das perdas de carga, estudando o fator rugosidade Bezerra et al. (2017), tem por objetivo principal a apresentação de uma nova formulação para a calibração do fator de atrito da equação universal da perda de carga utilizando o Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA) para o cálculo da rugosidade absoluta. O método foi aplicado, com auxílio da biblioteca Epanet2.dll para as simulações hidráulicas, em duas redes fictícias. Os resultados mostraram que é recomendado utilizar como rugosidade absoluta inicial o valor usual para o material novo. O método se mostrou simples de ser aplicado e com bons resultados, além de poder ser aplicado com um pequeno número de iterações.

### **Fator velocidade de fluxo**

A velocidade de fluxo é um dos parâmetros necessários para a determinação das perdas de carga. Esse aspecto estimula algumas pesquisas no sentido de desenvolver métodos alternativos de aferição desta velocidade.

Aplicações de hidrometria em canais com altas velocidades estão sujeitas às condições do fluxo, que geralmente é caracterizado por flutuações instantâneas e perturbações na superfície livre. Nesses casos, as incertezas associadas às flutuações de velocidade superam a precisão oferecida pelos instrumentos empregados nas técnicas convencionais. Pesquisando o uso de dispositivos baseados no princípio de Pitot que em escoamentos rápidos pode ser uma alternativa eficaz ao uso dos medidores de velocidades convencionais, os resultados demonstraram um desempenho similar do tubo de Pitot frente ao medidor acústico no que se refere às velocidades mais altas. Medidores baseados no princípio de Pitot apresentam-se, portanto, como alternativa para o emprego nos escoamentos livres de alta velocidade. (Almeida e Souza, 2017).

### **Metodologia de cálculo do fator rugosidade**

Mesmo a metodologia de cálculo pode ser alvo de pesquisa aprimorando a busca pela aplicabilidade prática e impondo alertas e limitações. O entendimento dos princípios e conceitos é de suma importância uma vez que interpretações quanto ao método de cálculo podem ser muito relevantes na aplicação prática.

Uma importante limitação dessas equações empíricas é que se assume um fator de rugosidade constante para todos os diâmetros e velocidades de escoamento. Em decorrência dessa suposição, a perda de carga calculada pelas equações empíricas pode diferir significativamente daquela calculada pela equação de Darcy-Weisbach, na qual o fator de atrito varia com as condições de escoamento. Para os tubos de polietileno estudados e de acordo com as condições experimentais, o fator de atrito  $f$  da equação de Darcy-Weisbach pode ser estimado com  $c= 0,300$  e  $m= 0,25$ . A equação de Blasius superestimou o fator de atrito, porém esse fato não constitui limitação para sua utilização em projetos de irrigação. As duas equações proporcionam estimativas de  $f$  com pequeno desvio médio (5,1%). (Cardoso et al., 2008)

### **Metodologia de cálculo pelos softwares**

Ainda sobre metodologia de cálculo, discute-se ainda diversas e úteis considerações em relação a base teórica e empírica, inclusive equalizando métodos de resoluções matemáticas que influenciariam no desempenho de softwares.

Contrariamente à opinião geral, a equação de Colebrook-White não é um método com bases teóricas, e sim uma combinação empírica entre a equação de Prandtl, para escoamento turbulento uniforme em tubos lisos, e a equação de von Karman para escoamento em tubos rugosos, sendo essas duas de bases teóricas. Conforme destaca Bernuth, (1988), a equação de Colebrook-White é um arranjo inteiramente empírico, com coeficientes empiricamente determinados, que possui a única vantagem de ser operacional. A maior desvantagem apontada para a equação de Colebrook-White é que ela é implícita em  $f$  e requer soluções por métodos numéricos iterativos como o de Newton-Raphson. Embora o trabalho computacional seja trivial no contexto da capacidade dos computadores atuais, a estimativa de  $f$  por métodos iterativos pode aumentar significativamente o trabalho computacional para redes de tubulações complexas em que é necessário o cálculo de múltiplos fatores de atrito. (Cardoso et al., 2008)

A conscientização no meio profissional, da necessidade cada vez mais precisa e rigorosa com dispositivos e componentes que permitam automatizar sistemas de transporte de fluidos, visando à eficiência, durabilidade e custos reduzidos, permitirão exigências de projetos objetivos com alto índice técnico e com perfeição cada vez maior na integração das instalações hidráulicas com a arquitetura e a estrutura da edificação ocorrendo a racionalização do projeto de construção civil através do sistema hidráulico de recalque de água. (Filho e Gualharine, 2008).

Diante de toda a problemática envolvendo as metodologias de cálculo nas perdas de carga, destaca-se ainda a atenção aos softwares utilizados para que representem de maneira eficaz a realidade nas simulações hidráulicas e isso exige de fato um bom conhecimento teórico do estudo de hidráulica para apontar eventuais inconveniências.

Cunha et al., (2015) desenvolveram um trabalho que consistiu na calibração do modelo hidráulico de uma rede de abastecimento real localizada em Goiânia – GO. Para tanto, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Soares, (2003), que utiliza o programa EPANET para a realização das

simulações hidráulicas e resolve o problema de calibração por meio dos Algoritmos Genéricos. Tal fato foi observado pelos autores e corrobora a importância do cuidado com a metodologia de análise:

Devido ao fato do modelo EPANET ser aplicável somente para escoamentos turbulentos, foi necessário fazer a verificação do número de Reynolds para cada trecho da rede e em distintos instantes do dia. Verificou-se que o único cenário em que ocorre o escoamento turbulento em todas as tubulações é o cenário de consumo máximo, podendo este ser aplicado ao modelo do EPANET. Portanto, o cenário utilizado nas análises de calibração foi o de maior vazão média. Além disso, deve-se destacar que a fórmula indicada para o cálculo do fator de atrito para escoamento turbulento liso, como ocorre nos tubos de PVC sem incrustação, é a de Blasius, não codificada no EPANET e que depende somente do número de Reynolds. (Cunha et al., 2015).

Como visto, importa muito o conhecimento da metodologia de cálculo dos próprios softwares para a melhor aplicabilidade prática no dimensionamento de perdas de carga.

### **Fator comprimento equivalente do acessório**

Para simplificações de cálculo o comprimento equivalente é um fator que atribui um acréscimo em metros a uma tubulação em substituição de um acessório hidráulico. Para isso cada elemento tem um comprimento equivalente tabelado de acordo com o diâmetro da tubulação.

A adequação de projetos hidráulicos às necessidades industriais ou mesmo residenciais leva ao uso de acessórios de tubulações, são alguns: válvulas, curvas, *tês*-cotovelos, ampliações e reduções de diâmetros das tubulações. A incorporação destes elementos a sistemas de escoamento aumenta consideravelmente a perda de carga do fluido escoante. A perda de carga, especificamente em acessórios, é um fator relevante em dimensionamento de qualquer sistema de bombeamento, visto que é imprescindível o cálculo do comprimento equivalente para determinar a potência de uma bomba, por exemplo. (Da Silva et al., 2012).

Da Silva et al. (2012) ressalta ainda a importância de estudos deste tipo para qualquer caso de dimensionamento de sistemas de bombeamento industriais ou mesmo comerciais e residenciais. Fatores como coeficiente de atrito e comprimento equivalente implicam na escolha de bombas mais ou menos potentes, conforme a necessidade de energia mecânica para o escoamento.

Nesse sentido também os estudos envolvendo perda de carga em acessórios singulares podem propor soluções energeticamente favoráveis contribuindo para o desenvolvimento de sistemas hidráulicos mais eficientes. O conhecimento do dimensionamento ideal de uma rede implica em conhecer as características que esses acessórios impõem na tubulação.

## **CONCLUSÃO**

A busca incansável pela eficiência energética deve ser um preceito básico que importa não só a eficiência financeira e tecnológica, mas também aos ganhos ambientais indiretos. O entendimento das perdas de carga em sistemas hidráulicos são fundamentos necessários ao bom planejamento de obras de abastecimento, irrigação ou saneamento. Longe ainda de se ter um modelo de cálculo universal e prático e que abranja ao mesmo tempo diversas condições realistas, tem se buscado desenvolver métodos que sejam mais rápidos e eficientes e busquem, contudo, a maior similaridade dos cálculos teóricos com os obtidos nas experimentações práticas.

Nada muito inovador quanto as concepções teóricas de cálculo têm se apresentado. Porém com a dificuldade da aplicação universal devido a imensa quantidade de fatores que podem se apresentar, as pesquisas com sua base teórica já bem definida tem se pautado agora na atenção em adaptações para aplicabilidade prática. As pesquisas então apontam para observações e características especiais de determinadas aplicações bem como para cuidados que se deve ter ao optar por determinado modelo.

Dada a importância do fator perda de carga ainda que solidamente embasada no conhecimento teórico já desenvolvido, tem-se ainda amplo espectro de possibilidades de pesquisa dada sua complexidade para aferição de seus fatores necessários ao cálculo. Nesse sentido cuidadosas maneiras de quantificar rugosidades, dimensões, viscosidades e velocidades tem seu campo de pesquisa abertos diante dos diversos usos tecnológicos demandados.

Por outro lado, considerações quanto a métodos de cálculo também merecem sua parcela de preocupação na busca pela aplicabilidade prática.

O pesquisador que adentra nesse campo deverá ficar também alerta aos sistemas computacionais disponíveis e será cobrado a conhecer profundamente as metodologias de cálculo que o software assume para interpor e intervir se necessário com considerações técnico-teóricas para a aplicabilidade prática.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, A. S.; Souza, V. C. B. Um método alternativo para medição de velocidades em escoamentos livres: avaliação de desempenho de um tubo de Pitot em comparação a um medidor acústico. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* Versão On-line ISSN 2318-0331 RBRH, Porto Alegre, v. 22, e 26, 2017.
- Andreoli, C. V.; Carneiro, C.; Tecnologias potenciais para o saneamento: produto da integração universidade – empresa. - 2. ed. - Programa paranaense e pesquisa em saneamento ambiental; v. 1. 2015.
- Azevedo Neto, J. M. Manual de hidráulica. 8 ed. São Paulo : Edgar Blucher, 1998. Vol. 1.
- Bezerra, A. A.; Castro, M. A. H.; Araújo, R. S. A. Cálculo da rugosidade absoluta através da calibração do fator de atrito com uso do Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA) em redes de distribuição. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Versão On-line ISSN 2318-0331. RBRH, Porto Alegre, v. 22, e24, 2017.*
- Cardoso, G. G. G.; Frizzone, J. A.; Rezende, R. Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros. *Acta Scientiarum. Agronomy, vol. 30, núm. 3, 2008.*
- Carvalho Júnior, Roberto de. Instalações prediais hidro sanitárias: Princípios básicos para elaboração de projetos. – 3. ed. rev. e ampl. – São Paulo: Blucher, 2018.
- Cunha, A. P.; Lemes, C. S.; Pinto, W. T.; Soares, A. K. Calibração de modelo hidráulico de rede de abastecimento de água via modelo inverso. *Revista eletrônica de engenharia civil. v. 22, n. 1, p. 36 - 49, 2015.*
- Da Silva, C. P.; Zapelini, D.; Niero, D. F.; Ronconi, J. V. V.; Dos Santos, M. F. Perda de carga por escoamentos em dutos e acessórios hidráulicos. 2012.
- Filho, O. R. C.; Gualharine, E. L. Automação em edificações verticalizadas e seus reflexos na racionalização do projeto. XII encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. 2008.
- Fontana, M. E.; Moraes, D. C. Modelo para setorizar redes de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras. *Produção, v. 25, n. 1, p. 143-156, jan./mar. 2015*
- Kuritza, J. C.; Camponogara, G.; Marques, M. G.; Sanagiotto, D. G.; Battiston, C. Curvas adimensionais de bombas centrífugas para sistemas de abastecimento de água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Versão On-line ISSN 2318-0331 RBRH, Porto Alegre, v. 22, e45, 2017.*
- Vilela L. A. A.; Soccol, O. J.; Gervásio, E. S.; Frizzone, J. A.; Botrel, T. As alteração no diâmetro e na perda de carga em tubos de polietileno submetidos a diferentes pressões. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p.182-185, 2003*