

HIDROCHEMICALS: SOFTWARE DE CÁLCULO DE PERDA DE CARGAS¹

**ARTHUR EDUARDO FREITAS HARTEMINK², BÁRBARA SOARES
KLAMT³, LUÍS FERNANDO NORONHA⁴, GABRIEL BATTISTELLI⁵**

¹ Projeto de Extensão desenvolvido pela Criatec - Incubadora de Empresas de Inovação Tecnológica com financiamento da SICDHAS (*Secretaria da Igualdade, Cidadania, Direitos Humanos e Assistência Social*).

² Estudante do Curso Engenharia Química.

³ Estudante do Curso Engenharia Química.

⁴ Estudante do Curso Engenharia Química.

⁵ Estudante do Curso Engenharia Química.

INTRODUÇÃO

A sociedade moderna depende crucialmente da energia elétrica para diversas atividades, e a busca por fontes limpas e eficientes de energia está em ascensão. No Brasil, as hidrelétricas representam a maioria da matriz elétrica, impulsionadas pelas vastas bacias hidrográficas. O processo de criação de hidrelétricas envolve considerações complexas para minimizar impactos ambientais e maximizar a eficiência. As perdas de carga ao longo das instalações são fatores críticos, calculados para avaliar a eficiência da conversão de energia. Essas perdas são influenciadas por atrito, turbulência e mudanças no fluxo. O cálculo preciso da perda de carga é fundamental para dimensionar componentes e garantir uma operação eficiente. Também auxilia na determinação da capacidade de transporte de água, evitando problemas como a cavitação nas turbinas. Para simplificar esses cálculos, o trabalho propõe o desenvolvimento de um software em parceria com a empresa Hidroenergia. Esse software usará modelagem matemática para agilizar o cálculo das perdas de carga, otimizando o planejamento de projetos hidrelétricos e entregando resultados eficazes.

METODOLOGIA

Visando analisar dados de cálculos de perda de carga fornecidos pela empresa Hidroenergia e compará-los com informações literárias para atingir os objetivos propostos. O foco central é desenvolver um software por meio de modelagem matemática.

Para isso, a pesquisa revisou estudos bibliográficos de autores como Archibald Joseph Macintyre e Rodrigo de Melo Porto, que exploram equações para determinar a perda de carga a partir de diversos fatores. Foram identificados problemas relacionados com o fluxo de

conduítes pressurizados, como a determinação de diâmetro, vazão e perda de pressão, que impactam tanto o equilíbrio hidráulico quanto os custos do sistema.

Os principais problemas encontrados no fluxo de conduítes pressurizados estão relacionados com os métodos de determinação do diâmetro, vazão ou perda de pressão no pipe para um determinado conjunto de variáveis conhecidas. De acordo com Bardestani et al. (2017), em estudos de otimização e análises hidráulicas de dutos e distribuição de água sistemas, esses problemas são extremamente significativos porque eles afetam tanto o equilíbrio hidráulico quanto os custos do sistema (PIMENTA 2020).

Utilizando majoritariamente duas equações para a determinação da perda de carga de uma hidrelétrica são a equação de Darcy-Weisbach, que é mostrada em [equação. (1)] e é conhecida como a equação universal, é uma das equações matemáticas mais complexas usadas para determinar a perda de pressão em tubulações, porque está relacionada com a características do fluido que flui e do conduto material e pode ser aplicado em qualquer tipo de material e qualquer diâmetro de tubo(PIMENTA 2020).

Equação 1:

$hf=f.(L/D).(V^2/2g)$, onde:

- hf é a perda de carga, em metros; L é o comprimento da tubulação, em metros; V é a velocidade média do fluxo, em metros/segundo; D é o diâmetro interno do tubo, em metros; g é a aceleração gravitacional, em metros/segundo ao quadrado; f é o fator de atrito, adimensional, e podendo ser obtido graficamente.

O fator de atrito é dependente do número de Reynolds e da rugosidade absoluta (ϵ , em m) da parede interna do tubo. A principal limitação que impede o amplo uso da equação de DarcyWeisbach é a estimativa do fator de atrito (f), onde obtemos os dados graficamente, onde o mesmo influencia diretamente nas perdas de carga de uma hidrelétrica.

Quando necessário efetuar o cálculo do fator de atrito, calcula-se o número de Reynolds primeiramente.

Equação 2: $ReD=(V.D)/\nu$, onde:

- V é a velocidade do fluido em metros/segundo; D é o diâmetro da tubulação em metros; ν é a viscosidade do fluido.

Para que então seja possível calcular o fator de atrito e substituí-lo na fórmula completa à partir de;

Equação 3: $f=0,25/(\log(e/3,7.D+5,74/ReD(x)))^2$, onde:

- e é a rugosidade do material; Red número de Reynolds anteriormente calculado.

Para que seja possível o cálculo das perdas de carga localizadas substituímos na equação o $(f.L/D)$ pelo coeficiente adimensional (k), que varia a partir do número de reynolds, a rugosidade ou mesmo a geometria da conexão.

A equação de Kirschmer é apenas uma das muitas equações que descrevem a propagação de ondas acústicas em meios porosos e foi originalmente desenvolvida por M. Kirschmer em 1942. Desde então, muitos outros pesquisadores contribuíram para o desenvolvimento de modelos mais sofisticados e precisos para a propagação de ondas acústicas em meios porosos. [equação (2)] (M.KIRSCHMER 1942):

Equação 4: $h=\beta .[(d/a)^{4/3}].\text{sen}(\alpha).(v^2/2g)$, onde:

- Δh é a perda de carga, em metros; β é o fator de forma da barra; d é a espessura das barras, em metros; a é o espaçamento livre mínimo entre as barras; α é o ângulo de inclinação com a horizontal; v é a velocidade média do fluxo, em metros/segundo; g é a aceleração da gravidade, em metros/segundo ao quadrado;

Outro fator contundente na relação das perdas de cargas são as paredes internas dos tubos, que raramente são perfeitamente lisas, ou seja, existe a presença de irregularidades denominadas de rugosidade (KELLNER; AKUTSU; REIS, 2016). O grau de rugosidade das superfícies está associado às características do material (OLIVEIRA et al., 2010) e varia de acordo com o envelhecimento dos tubos (KELLNER; AKUTSU; REIS, 2016), a tecnologia empregada no processo de fabricação, acabamento de superfícies (GHUMATKAR et al., 2016) e o tipo de material do tubo (KUN et al., 2015).

Equação 5: Equação de Darcy-Weisbach simplificada

$hf=k.(V^2g)$, onde: k é o coeficiente adimensional assumido pelo reynolds, rugosidade do material ou geometria das conexões; V é a velocidade média do fluxo, em metros/segundo; g é a aceleração gravitacional, em metros/segundo ao quadrado .

(para esta fórmula os valores de comprimento, atrito e diâmetro foram substituídos pelo k).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As possibilidades de cálculos finais apresentadas são:

- Perdas localizadas - através de Darcy simplificado; Equação 5; Perdas em grades - através de Kirschmer; Equação 4; Perdas por atrito - através de Darcy, Equação 1; Perdas por declive - que resultam de uma multiplicação entre a declividade e o comprimento do canal.

A plataforma web desenvolvida e finalizada apresenta uma aba com processos intuitivos para o usuário entrar com a sua demanda. O cliente poderá se cadastrar, logar e criar um projeto onde, dentro dele, terá as fórmulas citadas apresentadas em uma página e disponíveis para realizar seus cálculos. Para os cálculos, fica necessário que o usuário entre com dados particulares e relativos a cada situação de projeto específica, como velocidade do fluido, rugosidade do material da instalação, comprimento e espessura.

Todas as informações fornecidas pelo usuário ficam armazenadas em um banco de dados no MySQL (de forma Local), podendo ser usado inúmeras vezes, sem que se perca os dados utilizados anteriormente. Ao final da utilização do site pelo usuário, após realizar corretamente o cadastro e as entradas de informação para os cálculos, será apresentado o resultado da soma de todas as perdas de carga solicitadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido atendeu satisfatoriamente a demanda proposta e os objetivos traçados, trazendo uma automatização aos processos de cálculo anteriormente realizados de forma manual pela empresa, facilitando, agilizando e tornando mais precisos os dados de perda obtidos. Com a utilização do site desenvolvido, além da praticidade, tornou possível a previsão da redução em períodos de estiagem, onde há uma redução na utilização da turbina. Com o resultado final das perdas de cargas, fica possível realizar as previsões de dimensionamento e gastos hidrelétricos de maneira a economizar tempo e recursos financeiros.

Por fim, o projeto pode vir a impactar em uma redução significativa de erros de cálculo, com a tecnização dos métodos anteriormente utilizados. Tornou-se possível, então, através da modelagem matemática, promover de forma efetiva a facilitação almejada tanto

para a empresa solicitante quanto para demais usuários que possam vir a usufruir do programa desenvolvido.

Palavras-chave: Perda de Carga, Engenharia, Software.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PIMENTA, Bruna Dalcin et al. Rugosidade interna de tubulações de PVC avaliadas por diferentes equipamentos de medição. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 17, n. 1, p. 1-7, 2022.

Kirschmer, M. (1942). Theory of the Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid. The Journal of the Acoustical Society of America, 14(5), 383–393.
doi:10.1121/1.1916457.

Giovanetti, L. (2017). Análise estrutural dinâmica de grade de proteção de turbina de uma usina hidroelétrica. Dissertação de mestrado, Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica.

SILVA, J. F. Relação entre perda de carga hidráulica real e o modelo Müller. LinkedIn, 12 jul. 2021. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/rela%C3%A7%C3%A3o-entreperda-de-carga-hidr%C3%A1ulica-real-e-o-modelo-muller/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 27/04/2023

GIOVANETTI, L. (2017). Análise estrutural dinâmica de grade de proteção de turbina de uma usina hidroelétrica. Dissertação de mestrado, Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica.

BNDES, Banco Nacional do Desenvolvimento. A construção de hidrelétricas e seus efeitos sobre o desmatamento e sobre indicadores socioeconômicos locais. Acesso em: 10 de fevereiro de 2017. Disponível em <bn-des.gov.br>.

PORTO, Rodrigo (2006). Hidráulica Básica, 4ª Edição. Acessado digitalmente em 20 de Abril de 2023. Disponível em:

<https://pt.scribd.com/document/401794712/Livro-HidraulicaBasica-Rodrigo-Porto-4%C2%A4-Edicao-pdf>

SOARES, J. B. Bombas e Instalações de Bombeamento. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016