

EQUAÇÕES DE PERDA DE CARGA PARA TUBULAÇÕES DE FERRO GALVANIZADO CONDUZINDO ÁGUA RESIDUÁRIA DE GALINHAS POEDEIRAS

J.A.R de SOUZA¹; R.O. BATISTA²; M.R.VICENTE³; D. A. MOREIRA³; F.F. CUNHA³; D. C. FERREIRA⁴; R. OLIVEIRA BATISTA⁵

RESUMO - Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se ajustar equações para cálculo da perda de carga contínua em tubulações de ferro galvanizado, conduzindo água residuária de galinhas poedeiras com concentrações iguais a 0,26; 0,46; 0,73; 0,94; 1,63 e 2,89 dag L⁻¹ de sólidos totais. A perda de carga foi determinada em tubulações de ferro galvanizado, com diâmetros internos de 53,75; 84,01; 105,90; 130,30; e 155,58 mm, por meio de quatro piezômetros, distanciados 6 m ao longo da tubulação. Os resultados indicaram que as equações empíricas ajustadas com a aplicação das metodologias de Duffy & Titchener e Hazen-Williams modificada, apresentaram bons ajustes, com coeficiente de determinação superiores a 0,95. Desta maneira, recomenda-se a sua aplicação no dimensionamento de projetos com tubulações de ferro galvanizado.

PALAVRAS-CHAVE: água residuária, sólidos totais, perda de carga.

EQUATION OF HEAD LOSS FOR GALVANIZED IRON PIPELINES CARRYING LAYING HEN WASTEWATER

Abstract - The objective of this work was to adjust equations to calculate continuous head loss in polyethylene pipelines carrying laying hen wastewater with concentrations of 0.26; 0.46; 0.73; 0.94; 1.63; and 2.89 dag L⁻¹ of total solids. The head loss was determined in polyethylene pipelines, with internal diameters of 53.75; 84.01; 105.90; 130.30; and 155.58 mm, by means of four piezometers, 6 m apart along the pipelines. The results indicated that the empirical equations adjusted with the methodologies of Duffy & Titchener and Hazen-Williams modified gave good results with coefficient of determination superiors to 0.95, therefore, its application is recommended to design of projects with galvanized iron pipelines.

KEYWORDS: wastewater, total solids, head loss.

¹ Engº Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Av. P. H. Rolfs s/n, CEP: 36570-000, Viçosa, MG. Fone: (31)3899-2715 e-mail: jarstec@yahoo.com.br;

² Doutor em Eng. Agrícola, DEA/UFV;

³ Doutorando em Eng. Agrícola, DEA/UFV;

⁴ Mestre em Eng. Agrícola, DEA/UFV;

⁵ Mestrando em Eng. Agrícola, DEA/UFV.

INTRODUÇÃO

O dimensionamento adequado de um sistema de irrigação requer o conhecimento sobre a perda de carga que ocorre nas tubulações. No caso da aplicação de água residuária, deve-se levar em consideração a perda de carga proporcionada pelos sólidos totais nela presentes.

Existem diversas fórmulas que estimam a perda de carga contínua em condutos forçados com seção circular e área constante.

Sampaio et al. (2000, 2001) ajustaram modelos matemáticos que estimam a perda de carga distribuída em tubulações de aço zincado, ferro galvanizado e PVC, com diâmetros comerciais de duas a seis polegadas, utilizando água residuária de bovinocultura e de suinocultura, com diferentes concentrações de sólidos totais, como fluidos circulantes. Esses autores concluíram que os métodos que estimam a perda de carga pela equação universal e relacionam o fator de atrito às características de escoamento, não apresentaram bom ajuste, principalmente quando se utilizou o número de Reynolds generalizado. As equações empíricas empregando-se as metodologias de Duffy & Titchener (1974) e Hazen-Williams modificada para ambos os tipos de água residuária, que relacionam a perda de carga com vazão, diâmetro, coeficiente de rugosidade e concentrações de sólidos totais, apresentaram bons resultados, com coeficiente de determinação igual a 98%. De acordo com os autores, as equações oriundas da metodologia de Hazen-Williams modificada podem ser utilizadas no dimensionamento de projetos hidráulicos pressurizados com escoamento de água residuária de bovinocultura e suinocultura.

Neste trabalho, teve-se por objetivo ajustar uma equação para cálculo da perda de carga contínua em tubulações de ferro galvanizado, conduzindo água residuária de galinhas poedeiras (ARA-P), em diferentes concentrações de sólidos totais.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. A perda de carga contínua foi determinada em tubulações de ferro galvanizado com diâmetros internos de 53,75; 84,01; 105,90; 130,30; e 155,58 mm, conduzindo água limpa proveniente de poço artesiano e água residuária de galinhas poedeiras (ARA-P) em seis diferentes concentrações de sólidos totais (0,26; 0,46; 0,73; 0,94; 1,63 e 2,89 dag L⁻¹), obtidas mediante adição e mistura de esterco de galinhas poedeiras em reservatório de 10 m³ contendo água.

As tubulações com distintos diâmetros internos foram conectadas a uma tubulação de ferro galvanizado de 155,58 mm de diâmetro e mantidas em nível, permitindo-se, assim, o uso da Equação Universal na determinação do fator de atrito. A perda de carga foi avaliada em um comprimento útil de 18 m de tubulação, por quatro piezômetros, constituídos de mangueiras de 20 mm de diâmetro, distanciados 6 m ao longo da tubulação, conforme observado na Figura 1.

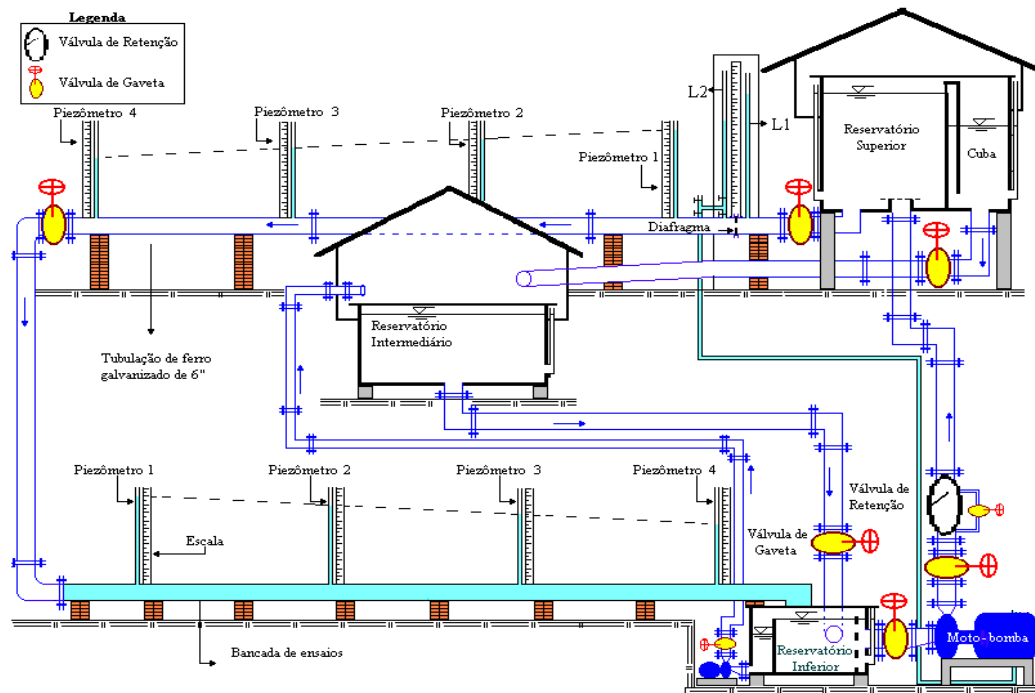


Figura 1 - Ilustração da bancada experimental

A vazão foi medida por meio de diafragma previamente calibrado, instalado na tubulação derivada do reservatório superior. Os ensaios foram conduzidos da seguinte maneira: o fluido era bombeado do reservatório inferior para o reservatório superior, de onde parte do fluido escoava por gravidade para as tubulações situadas na bancada de ensaios, que apresentava um desnível de 4,5 m em relação ao nível constante do reservatório superior. Em seguida, o fluido era descarregado no reservatório inferior. O excedente do fluido do reservatório superior era conduzido para o reservatório intermediário para, posteriormente, ser conduzido ao reservatório inferior, onde era novamente bombeado, fechando-se, dessa maneira, o ciclo.

A partir dos dados de perda de carga (J), concentração de sólidos totais (ST), vazão (Q) e diâmetro (D), estimaram-se os coeficientes do modelo de Sampaio (2000, 2001), Duffy & Titchener (1974) e Hazen-Williams modificado, utilizando-se o procedimento de regressão não-linear (Gauss Newton).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises física e química da água limpa e água residuária de galinhas poedeiras (ARA-P). Observa-se que os valores de sólidos sedimentáveis e de peso específico da ARA-P aumentaram com a concentração de sólidos totais. A viscosidade aparente (η) de todas as concentrações ARA-P apresentaram-se menores que a da água limpa.

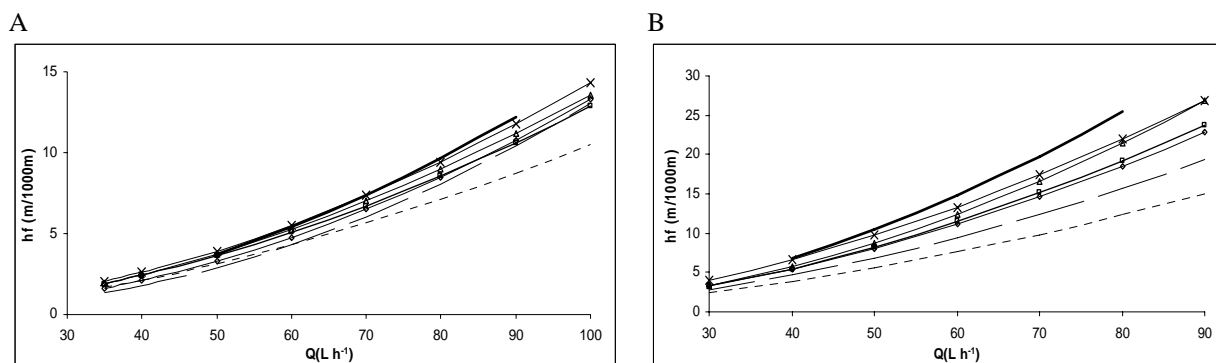
Tabela 1 - Valores das características física e química da água limpa e água residuária de galinhas poedeiras (ARA- P).

Característica / fluido circulante	Água limpa	ARA - P					
ST (dag L ⁻¹)	0,01	0,26	0,46	0,73	0,94	1,63	2,89
SD (mL L ⁻¹)	<0,1	14	27	52	81	173	297
γ (kgf m ⁻³)	999,48	1.003	1.004	1.006	1.004	1.009	1.015
η (Pa s)	0,00130	0,000836	0,0007822	0,00085540	0,0002796	0,0007191	0,0002706
pH	7,05	7,47	7,19	7,28	7,33	7,12	7,17

ST = sólidos totais; SD = sólidos sedimentáveis; γ = peso específico; η = viscosidade aparente; e pH = potencial hidrogeniônico.

Na Figura 2, estão apresentadas as curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária (J) em função da vazão (Q), para água limpa e seis concentrações de ARA-P, nos cinco diâmetros avaliados. Pode-se verificar, nessa figura, que a maior e a menor perda de carga sempre ocorreram para água limpa e ARA-P na concentração de 0,46 dag L⁻¹, respectivamente. Associando-se os resultados da perda de carga com a viscosidade nas várias concentrações de ARA-P, verifica-se uma tendência de que a perda de carga seja menor em fluidos de viscosidade menor que da água limpa.

Segundo Azevedo Netto et al. (1998), no escoamento em tubos, mesmo em regime turbulento liso, sempre existe uma camada laminar junto às paredes. Esta camada, em algumas situações de escoamento, cobre boa parte da rugosidade das tubulações ensaiadas, diminuindo o atrito com o fluido, contribuindo para a redução da perda de carga em relação à água limpa.



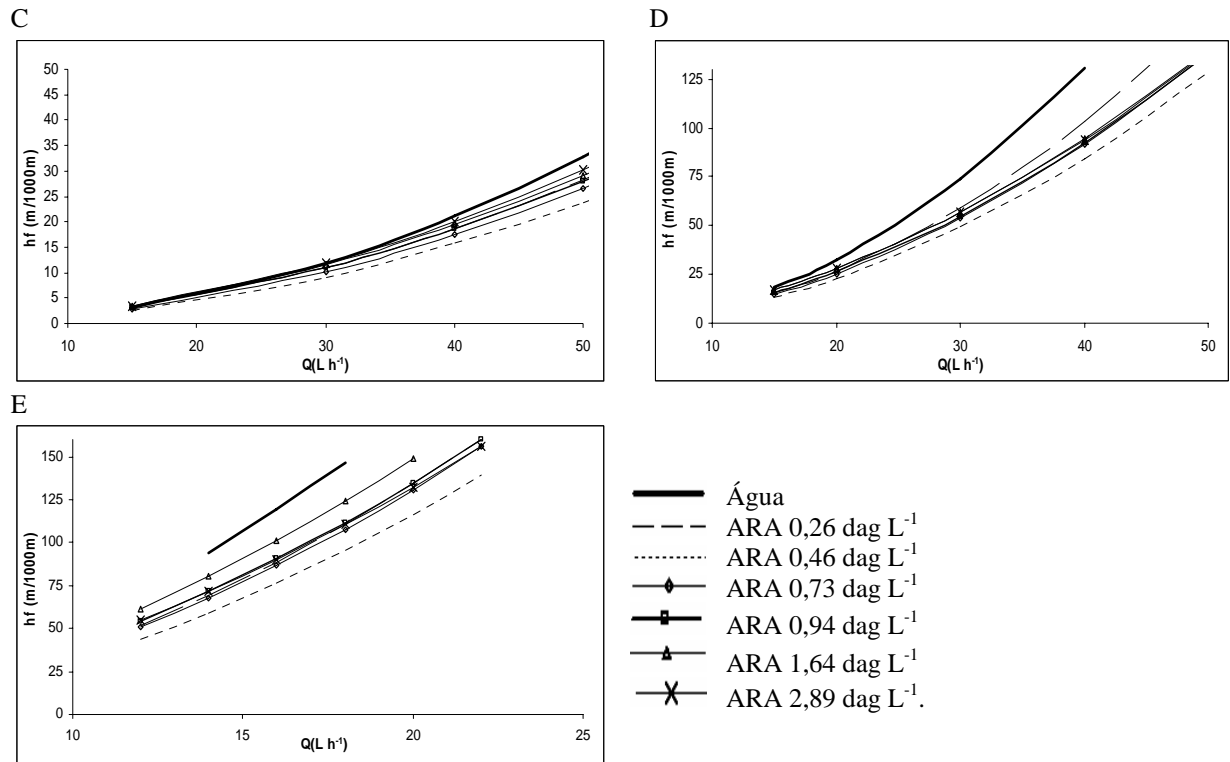


Figura 2 – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária (J - m/1000m) em função da vazão (Q - m³ h⁻¹) para a tubulação de ferro galvanizado nos diâmetros de (A) 155,48 mm; (B) 130,30 mm; (C) 105,90mm; (D) 84,01 mm e (E) 53,75 mm.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados dos modelos de estimativa de perda de carga contínua baseados nas equações Sampaio (200,2001), Duffy e Titchener (1974) e Hazen-Williamns modificado, para os diferentes diâmetros e concentrações de ARA-P.

Tabela 2 - Equações ajustadas do fator de atrito (f) e perda de carga (J) para as diferentes concentrações de ARA-P.

Modelo	Equação ajustada	R²
Sampaio (2000, 2001)	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,8673ST^{-0,0241}(\ln Re y)\sqrt{f} + 12,1613$	0,9044
Duffy e Titchener (1974)	$J = 0,0004954V^{1,8947}ST^{0,0529}D^{-1,4142}$	0,9521
Hazen-Williamns modificado	$J = \frac{10,649Q^{1,8518}}{C^{1,8523}D^{4,8712}}$	0,9990

f - fator de atrito, adimensional; ST - concentração de sólidos totais, dag L⁻¹; Rey, - número de Reynolds, adimensional; V - velocidade média do fluido, m s⁻¹; D - diâmetro da tubulação, m; Q - vazão, m³ s⁻¹; e C - coeficiente de rugosidade, adimensional.

As estimativas de perda de carga que mais se aproximaram dos dados observados em campo foram correspondentes às equações de melhor ajuste, destacando-se os modelos de Duffy e Titchener (1974) e Hazen e Williams modificado, sendo que este último estimou a perda de carga mais próxima dos valores encontrados nos ensaios, subestimando, em média, a perda de carga para quaisquer vazões (Q), concentrações de sólidos totais (ST) ou diâmetros

(D), apresentando, em geral, os menores erros médios e desvios padrão, justificando, portanto, seu melhor ajuste se comparados aos demais.

Ao utilizar a Equação Universal no cálculo do fator de atrito (f), verificou-se que para uma mesma vazão e diâmetro da tubulação, o valor do fator f diminuiu da água limpa à concentração de sólidos totais $0,46 \text{ dag L}^{-1}$, e aumentou da concentração de $0,46 \text{ dag L}^{-1}$ à $2,89 \text{ dag L}^{-1}$. Assim, em certa concentração de sólidos totais não estudada, entre $0,46 \text{ dag L}^{-1}$ e $0,73 \text{ dag L}^{-1}$, ocorreu inversão do comportamento do fluido quanto à perda de carga. Tagliaferre (2003) estudando perda de carga em tubos de polietileno conduzindo água residuária de suinocultura, obteve comportamento semelhante, encontrando perda de carga menor que da água limpa em concentrações de sólidos totais que variaram de 1,15 a $1,75 \text{ dag L}^{-1}$.

CONCLUSÕES

A perda de carga nas tubulações de ferro galvanizado conduzindo ARA-P nas concentrações de sólidos totais estudadas é menor do que para a água limpa, diminuindo até a concentração de $0,46 \text{ dag L}^{-1}$ e voltando a crescer daí até a concentração de $2,89 \text{ dag L}^{-1}$. As equações empíricas ajustadas com a aplicação das metodologias de Duffy & Titchener e Hazen-Williams modificada, apresentaram bons ajustes, com coeficiente de determinação superiores a 0,95. Desta maneira, recomenda-se a sua aplicação no dimensionamento de projetos com tubulações de ferro galvanizado.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNADEZ, M. F.; ARAÚJO, R., ITO, A. E. Manual de hidráulica – 8ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. 670p.
- DUFFY, G. G.; TITCHENER, A. L. Design procedures for obtaining pipelines friction loss for chemical pulps. Tappi, Atlanta, v. 57, n. 5, p. 162-166, 1974.
- SAMPAIO, S. C.; DENICULI, W.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, D. D.; CECON, P. R.; PINTO, F. A. Equações de perda de carga distribuída para tubulações comerciais conduzindo água residuária de bovinocultura. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.20, n. 2, p.108-118, 2000.
- SAMPAIO, S. C.; DENICULI, W.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A. Perda de carga contínua em tubulações conduzindo água residuária da suinocultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 3, p.391-396. 2001.
- TAGLIAFERRE, C. Perda de carga em tubos de polietileno e entupimento de microaspersor operando com água residuária de suinocultura. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.