



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

EQUAÇÕES DE PERDA DE CARGA CONTÍNUA PARA TUBULAÇÕES COMERCIAIS OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE AVICULTURA

José Antonio Rodrigues de Souza¹; Débora Astoni Moreira²; Paulo Afonso Ferreira³

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se ajustar equações para cálculo da perda de carga contínua em tubulações de PVC, aço zincado e ferro galvanizado conduzindo água limpa e água residuária de avicultura em diferentes concentrações de sólidos totais. A perda de carga foi por meio de quatro piezômetros, distanciados 4 m ao longo da tubulação. Os resultados indicaram que, para as diferentes tubulações, as equações empíricas ajustadas com a aplicação das metodologias de Duffy e Titchener e Hazen-Williams modificada, apresentaram bons ajustes, com coeficiente de determinação igual a 0,99. Desta maneira, recomenda-se a sua aplicação no dimensionamento de projetos com tubulações de PVC.

Palavras-chave: água residuária; hidráulica; perda de carga.

HEAD LOSS EQUATIONS ESTIMATE FOR COMERCIALS PIPELINES CONDUCTING WASTEWATER FROM POULTRY

ABSTRACT

The objective of this work was to adjust equations to calculate continuous head loss in PVC, zincated steel, galvanized iron pipelines conducting wastewater from poultry with different concentrations of total solids. The head loss was determined by means of four piezometers, 4 m apart along the pipelines. The results indicated that the, for all pipelines, empirical equations adjusted with the methodologies of Duffy e Titchener and Hazen-Williams modified gave good results with coefficient of determination equivalent to 0.99, therefore, its application is recommended to design of projects with PVC pipelines.

Keywords: wastewater; hydraulic; head loss.

Trabalho recebido em 06/03/2010 e aceito para publicação em 12/03/2010.

¹ Eng. Agrícola, Doutor Eng. Agrícola, Depto. Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. e-mail: jarstec@yahoo.com.br;

² Química, Doutora Eng. Agrícola, Depto. Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. e-mail: deboraastoni@yahoo.com.br

³ Professor Voluntário, Depto. Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. e-mail: paf@ufv.br

1. INTRODUÇÃO

Com a intensificação da produção houve, como consequência, aumento do volume de dejetos gerados por unidade de área, os quais passaram a ser lançados nos cursos d'água sem tratamento prévio ou sem um manejo adequado. Esses dejetos se transformaram em fonte poluidora dos mananciais de água devido à alta concentração de matéria orgânica, nutrientes, além de patógenos e metais pesados (Scherer & Baldissera, 1995), constituindo fator de risco à saúde animal e humana e obstáculo à expansão da produção como atividade econômica rentável.

Apesar destas características poluidoras, os dejetos, quando incorporados ao solo, podem melhorar suas propriedades físicas, químicas e biológicas devido ao seu alto conteúdo de matéria orgânica. A utilização de águas residuárias resulta em importantes contribuições para a minimização da poluição, pela redução do lançamento de águas residuárias nos mananciais, além de constituir alternativa econômica para a propriedade rural, sem o comprometimento da qualidade ambiental.

Atualmente, a utilização de águas residuárias na fertirrigação está sendo considerada uma forma de tratamento alternativo, tornando-se objeto de vários estudos. Os recursos hídricos de alta qualidade estão também escassos, o que

tem resultado na busca de meios para se utilizar água de qualidade inferior, reduzindo, assim, a pressão sobre os mananciais, principalmente em regiões onde eles se encontram restritos para irrigação (TAGLIAFERRE, 2003).

A maioria das informações relativas à utilização de equipamentos de irrigação na aplicação de águas residuárias são genéricas e, para a maioria das situações, não correspondem à realidade. Em geral, os gráficos e tabelas fornecidos pelos fabricantes são obtidos, conforme ABNT (1986), por meio de ensaios utilizando-se como fluido circulante a água limpa e, portanto, podem não se aplicar à situação de operação com águas que apresentam elevadas concentrações de sólidos, como é o caso das águas residuárias.

Para o correto dimensionamento de sistemas de irrigação, necessita-se tanto de conhecimento técnico, quanto de informações destes equipamentos sob condições de operação com águas residuárias. O não conhecimento destes parâmetros pode acarretar consequências sérias tais como o consumo excessivo de energia, sobrecarga no motor, entupimentos, desuniformidade de emissão e abandono do sistema, retornando a métodos de aplicação menos eficientes.

Objetivou-se, no presente trabalho, ajustar equações para estimativa da perda de carga contínua em tubulações de PVC,

aço zincado e ferro fundido nos diâmetros comerciais de 50 a 150 mm, conduzindo água limpa e água residuária de avicultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de

Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Na Figura 1 está apresentado o esquema da bancada experimental, com os conjuntos motobombas, as tubulações, os piezômetros e os detalhes internos dos reservatórios.

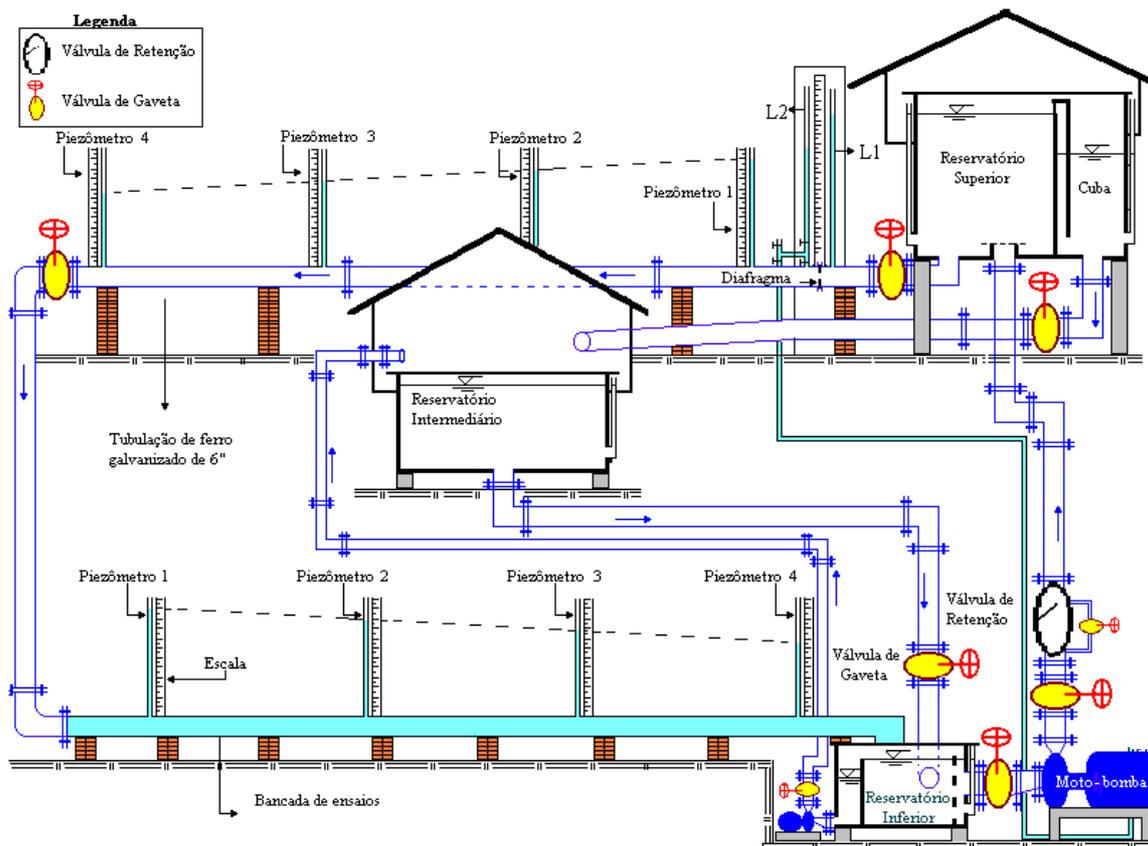


Figura 1. Esquema representando a bancada experimental.

Foram utilizadas tubulações de PVC nos diâmetros internos de 52,61; 79,90; 103,22; 127,31 e 153,53mm, ferro galvanizado com diâmetros internos de 53,75; 84,01; 105,90; 130,30; e 155,58mm e aço zincado nos diâmetros internos de 73,54; 99,83; 125,24 e 150,43mm. A perda de carga foi medida num trecho com 18 m

de comprimento, por meio de 4 piezômetros espaçados de 6 metros, resultando em três trechos de 6 metros.

As tubulações avaliadas eram conectadas à tubulação de ferro galvanizado de 155,58mm de diâmetro por meio de reduções concêntricas flangeadas, sendo colocadas em nível, de modo a

permitir o uso da Equação 1 na determinação do fator de atrito.

$$J = \frac{f V^2}{D 2g} = \frac{8 f Q^2}{D^5 \pi^2 g} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que,

J = Perda de carga unitária, ($m m^{-1}$);

f = fator de atrito, (adimensional);

D = diâmetro interno da tubulação, (m);

V = velocidade média do fluido, ($m s^{-1}$);

g = aceleração da gravidade, ($m s^{-2}$); e

Q = vazão média do fluido, ($m^3 s^{-1}$).

A vazão foi medida por meio de diafragma de diâmetro de 84,5mm previamente calibrado, situado na tubulação derivada do reservatório superior. Todos os ensaios foram conduzidos com as tubulações cheias de fluido, obtida por meio de instalação de curvas de 90° voltadas para cima na extremidade final de cada tubulação.

Utilizou-se como fluido circulante água limpa e água residuária de avicultura (ARA) em seis diferentes concentrações de sólidos totais (0,26; 0,46; 0,73; 0,94; 1,63 e 2,89dag L⁻¹), obtidas mediante adição e mistura de esterco de galinhas poedeiras em reservatório de 10m³ contendo água.

Para obtenção da ARA nas diferentes concentrações, o esterco foi moído e passado em peneira com abertura de 6 mm para a retirada de penas e outros materiais indesejáveis, sendo, posteriormente,

adicionado ao reservatório com o fluido em circulação, a fim de evitar sedimentação e facilitar a homogeneização. Após a adição de esterco correspondente a cada concentração, o efluente circulou durante cinco horas, depois de ficar pelo menos 12 horas em repouso para absorção de água.

A ração das galinhas poedeiras do galpão, onde foi obtido o esterco, continha cerca de 60% de milho, 25% de farelo de soja, 7% de calcário e 2% de fosfato bicálcico, além de suplementos minerais, óleos e aditivos, totalizando 6%.

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 para o reservatório inferior, onde era novamente bombeado, fechando-se, dessa maneira, o ciclo.

Instalou-se no interior do reservatório inferior uma chapa sem perfuração, para estabelecer nível constante do fluido, e uma chapa

perfurada, para reduzir a turbulência causada pela entrada de fluido proveniente da tubulação avaliada. O excesso de fluido neste reservatório era recebido num compartimento localizado à esquerda da chapa metálica sem perfurações, sendo, em seguida, bombeado para o reservatório intermediário com um conjunto motobomba auxiliar dotado de chave-bóia que efetuava acionamento e desligamento automáticos desse recalque toda vez que o nível atingia a altura de 0,67m em relação ao fundo.

No reservatório superior foi instalada uma chapa metálica circular, posicionada horizontalmente nas proximidades da seção de entrada a 25cm do fundo, para reduzir a turbulência do fluido. Outra chapa metálica com entalhe em “V” foi instalada na parte superior, semelhante a um vertedor triangular, mantendo-se o nível constante do fluido, para condicionar todos os ensaios às mesmas características de escoamento e altura de carga. Possibilitou-se, também, a criação de um compartimento (cuba) para uso na calibração do diafragma.

De posse dos dados de perda de carga, concentração de sólidos totais, vazão e diâmetros de tubulação, avaliaram-se os modelos de estimativa de perda de carga de Sampaio et al. (1999), Duffy e Titchener (1974) e Hazen-Williams

modificado, utilizando-se o programa estatístico SAEG.

a) Modelo de Sampaio et al. (1999)

Modelo adaptado de Lee e Duffy (1976) com alteração na sua forma para considerar o efeito da concentração de sólidos totais.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = a(\ln \text{Rey})(\sqrt{f}) + b \quad (\text{Equação 2})$$

Em que,

f = fator de atrito, (adimensional);

Rey = número de Reynolds, (adimensional); e

a e b = constantes características do fluido, (adimensionais).

b) Modelo de Duffy & Titchener (1974)

Modelo que estima a perda de carga em função da velocidade média do escoamento, da concentração de sólidos totais do fluido circulante, do diâmetro e do tipo de material da tubulação.

$$J = \beta_1 V^{\beta_2} ST^{\beta_3} D^{\beta_4} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que,

J = Perda de carga unitária, ($m \cdot m^{-1}$);

V = velocidade média, ($m \cdot s^{-1}$);

D = diâmetro interno da tubulação, (m); e

ST = concentração de sólidos totais, (dag L^{-1}); e

β_1 , β_2 , β_3 e β_4 = constantes características do fluido, (adimensionais).

c) Modelo de Hazen-Williams modificado

Modelo de Hazen-Williams adaptado por Sampaio et al (2000, 2001) para água residuária. Este modelo, semelhante à equação de Hazen-Williams, possui grande potencial de uso devido a sua simplicidade e capacidade de síntese.

$$J = \frac{k_1(ST)^{k_2} Q^{k_3}}{C^{k_4} D^{k_5}} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

J = perda de carga unitária, ($m\ m^{-1}$);

ST = concentração de sólidos totais, ($dag\ L^{-1}$);

Q = vazão média do fluido, ($m^3\ s^{-1}$);

C = coeficiente de rugosidade, (adimensional, PVC = 145; aço

zincado = 160; ferro galvanizado = 150);

D = diâmetro interno da tubulação, (m);

k_1, k_2, k_3, k_4 e k_5 = parâmetros de ajuste da equação, (adimensionais).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises física e química da água limpa e ARA. Verifica-se que os valores de sólidos sedimentáveis e de peso específico da ARA aumentaram com a concentração de sólidos totais.

Tabela 1. Valores das características física e química da água limpa e da água residuária de avicultura (ARA).

	Água			ARA			
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)	0,0013	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.

As curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária (J) em função da vazão (Q), para água limpa e seis concentrações de ARA, nos cinco diâmetros avaliados, obtidas utilizando-se

a Equação 1 para o cálculo do fator f para a tubulação de PVC (Figura 2), ferro galvanizado (Figura 3) e aço zincado (Figura 4)

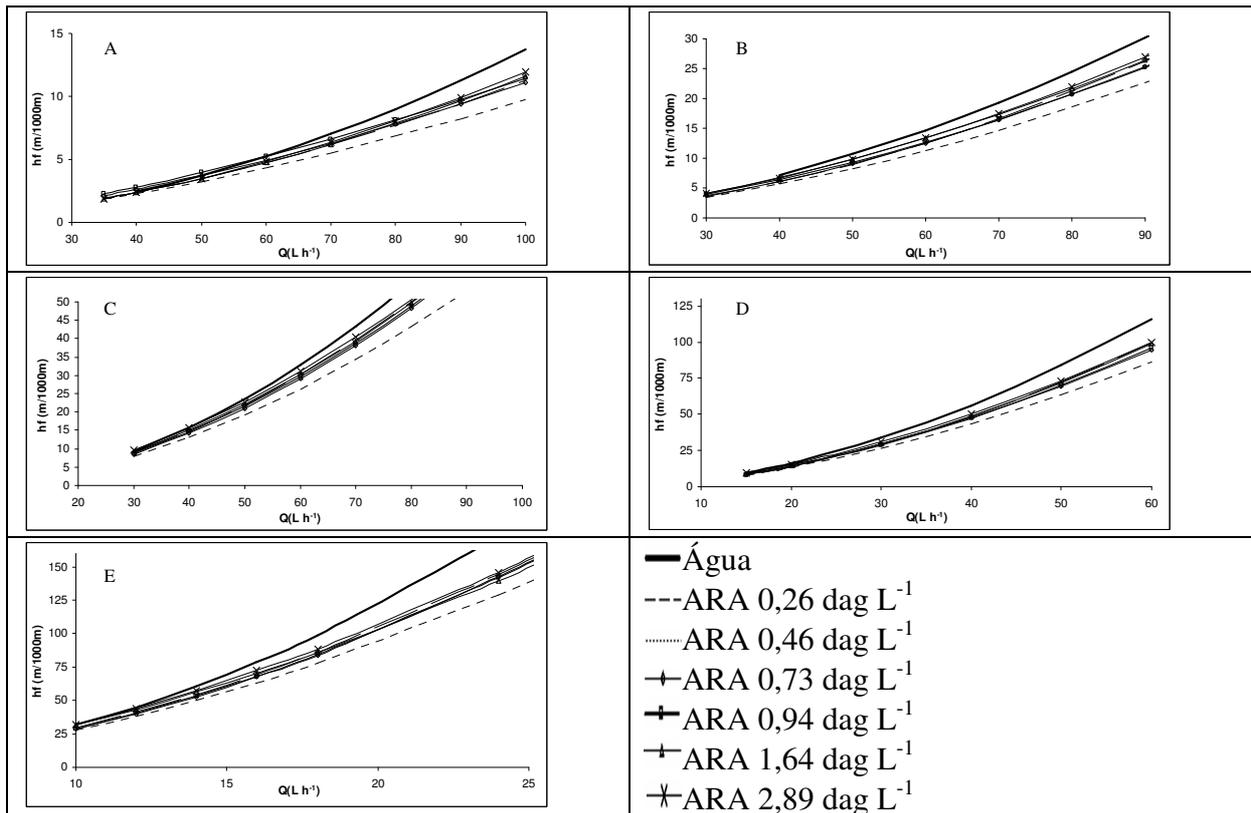


Figura 2. Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária (J-m/1000m) em função da vazão ($Q - m^3 \cdot h^{-1}$) para a tubulação de PVC nos diâmetros de (A) 153,43mm; (B) 127,31 mm; (C) 103,220mm, (D)) 79,90mm e (E)53,61mm.

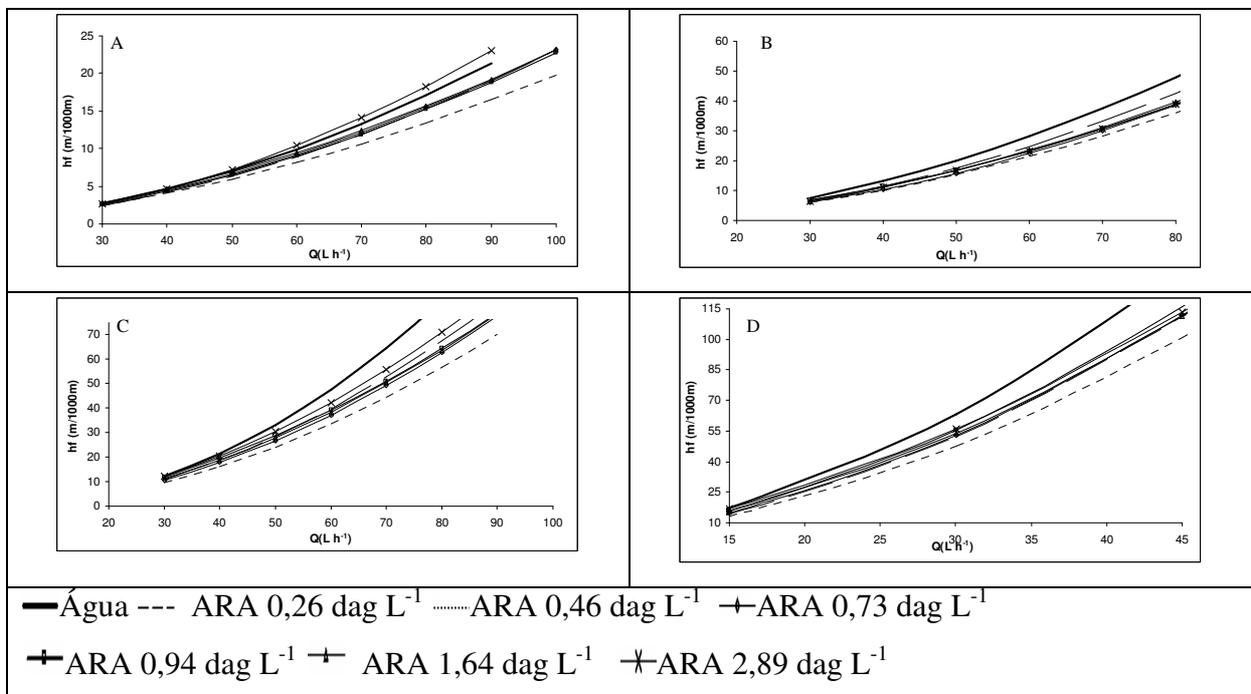


Figura 3. Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária (J-m/1000m) em função da vazão ($Q - m^3 \cdot h^{-1}$) para a tubulação de aço zincado nos diâmetros de (A) 150,43mm; (B) 125,24mm; (C) 99,83mm e (D) 73,54mm.

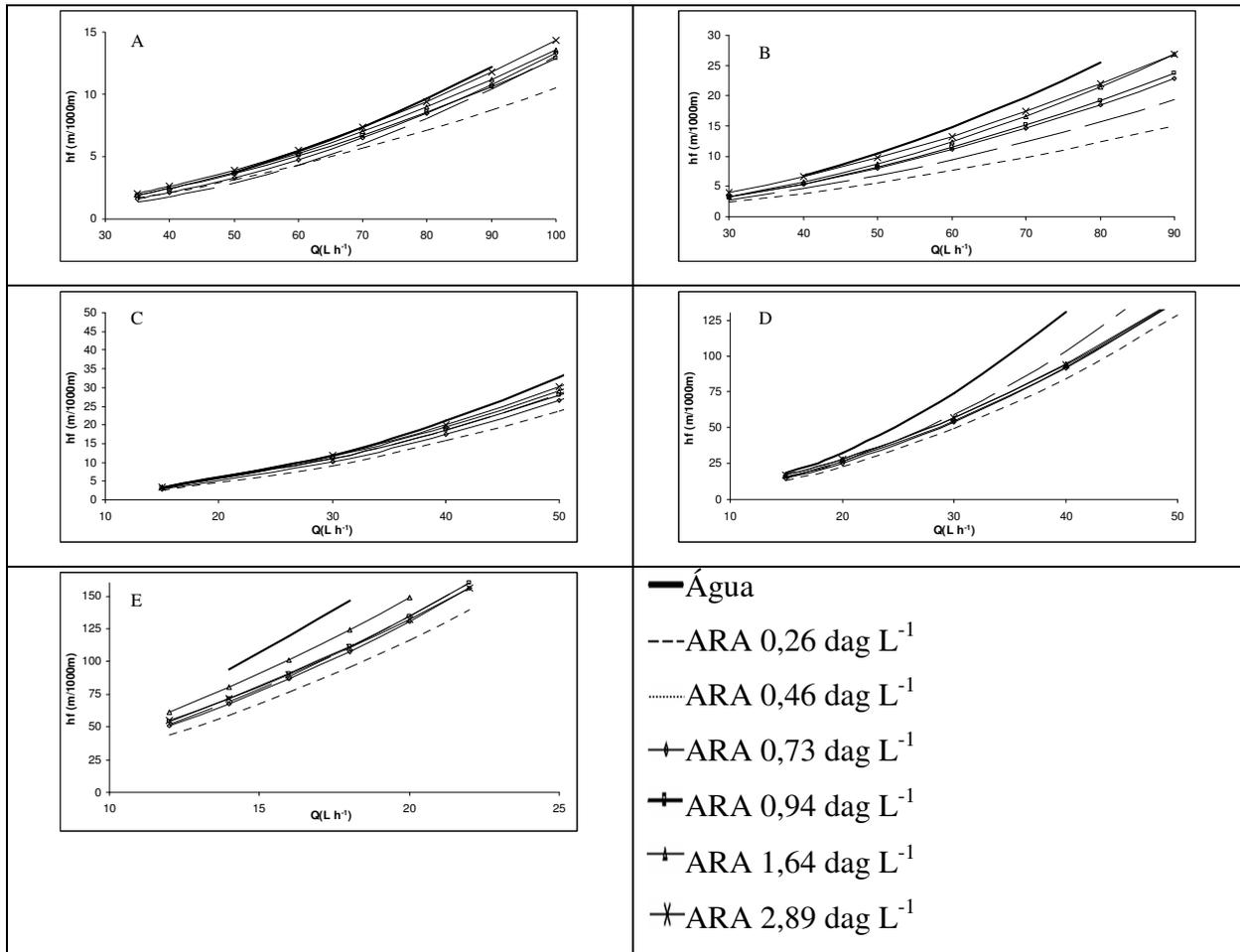


Figura 3. Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária (J - m/1000m) em função da vazão (Q - m³ h⁻¹) para a tubulação de ferro galvanizado nos diâmetros de (A) 155,48mm; (B) 130,30mm; (C) 105,90mm; (D) 84,01mm e (E)53,75mm.

Observa-se que a maior e a menor perda de carga sempre ocorreram para água limpa e ARA na concentração de 0,46 dag L⁻¹, respectivamente. Verifica-se, assim, uma tendência de que a perda de carga seja menor em fluidos de viscosidade menor que da água limpa. Com menor viscosidade, menos energia será dissipada por atrito, implicando em menor perda de carga.

Observa-se ainda que, para uma mesma vazão e diâmetro da tubulação, o valor do fator f diminuiu da água limpa à concentração de sólidos totais 0,46dag L⁻¹, e aumentou da concentração de 0,46dag L⁻¹ à 2,89 dag L⁻¹. Assim, em certa concentração de sólidos totais não estudada, entre 0,46dag L⁻¹ e 0,73dag 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 1,75dag L⁻¹.

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.

Os resultados dos modelos de estimativa de perda de carga contínua baseados nas equações de Hazen-Williams e Universal, após teste de identidade de modelo, para determinar equação comum para os diferentes diâmetros e concentrações de ARA, para tubulação de PVC, aço zincado e ferro galvanizado estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Tabela 2. Equações ajustadas do fator de atrito (f) e perda de carga (J) para as diferentes concentrações de ARA avalidas, para tubulação de PVC.

Modelo	Equação ajustada	R ²
Sampaio et al (1999)	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -3,8660ST^{-0,0242} (\ln Re y)\sqrt{f} + 14,1297$	0,63
Duffy e Titchener (1974)	$J = 0,0006946V^{1,7129} ST^{0,0310} D^{-1,1446}$	0,99
Hazen-Williamns modificado	$J = \frac{10,649Q^{1,8518}}{C^{1,8523} D^{4,8712}}$	0,99

Tabela 3. Equações ajustadas do fator de atrito (f) e perda de carga (J) para as diferentes concentrações de ARA avalidas, para tubulação de aço zincado.

Modelo	Equação ajustada	R ²
Sampaio et al (1999)	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -3,2814ST^{-0,0278} (\ln Re y)\sqrt{f} + 13,0463$	0,90
Duffy e Titchener (1974)	$J = 0,003714V^{1,71039} ST^{0,0182} D^{-0,5538}$	0,95
Hazen-Williamns modificado	$J = \frac{10,649Q^{1,8518}}{C^{1,8523} D^{4,8712}}$	0,99

Tabela 4. Equações ajustadas do fator de atrito (f) e perda de carga (J) para as diferentes concentrações de ARA avalidas, para tubulação de ferro galvanizado.

Modelo	Equação ajustada	R ²
Sampaio (2000, 2001)	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,8673ST^{-0,0241} (\ln Re y)\sqrt{f} + 12,1613$	0,90

Duffy e Titchener (1974)	$J = 0,0004954V^{1,8947} ST^{0,0529} D^{-1,4142}$	0,95
Hazen-Williamns modificado	$J = \frac{10,649Q^{1,8518}}{C^{1,8523} D^{4,8712}}$	0,99

Em que,

f = fator de atrito, (adimensional);

ST = 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, ($m^3 s^{-1}$); e

C = coeficiente de rugosidade, (adimensional).

No ajuste das equações pelo modelo de Sampaio et al. (1999) modificado, todas as observações se processaram no regime turbulento, com número de Reynolds mínimo em torno de 100.000. Como a viscosidade do fluido era conhecida (Zinato et al., 2007), ela foi utilizada para determinar o número de Reynolds. A recomendação da utilização destas equações para as condições em que foram realizados os ensaios de campo representa uma restrição para o seu uso, já que sua precisão possivelmente cairá para faixas de concentrações diferentes das obtidas nos ensaios.

Nas equações ajustadas baseando-se no modelo de Duffy e Titchener (1974), os expoentes da velocidade para todos os materiais e diâmetros avaliados estão dentro da faixa apresentada por Duffy (1976) para diferentes fluidos escoantes não newtonianos e aproximam-se daqueles

apresentados por Hazen e Williams (1963), que são 1,85 e 1,17, respectivamente, exceto para os tubos de aço zincado. O baixo valor dos expoentes da concentração de sólidos totais é um indicativo de que o efeito desta variável na perda de carga é pequeno para as concentrações do estudo.

Nota-se que os expoentes da vazão (Q), coeficiente de rugosidade (C), diâmetro (D) e o coeficiente numérico da equação ajustada baseando-se no modelo de Hazen e Williams modificado estão bastante próximos dos apresentados por Hazen e Williams (1963). Para todas as tubulações estudadas, a concentração de sólidos totais da ARA na faixa avaliada pôde ser desprezada, uma vez que apresentaram valores do expoente próximo de zero, sendo indicativo de que o efeito desta variável na perda de carga é desprezível.

De uma forma geral, comparando-se os ajustes dos modelos apresentados neste

trabalho, os resultados reafirmam a citação de Duffy (1976) de que os modelos empíricos, em geral, apresentam melhores resultados do que os modelos que estimam o fator de atrito f da fórmula universal.

Observa-se, também, que, para todos os materiais de tubulação avaliados, apresentaram os mesmos valores dos coeficientes k_1 , k_2 , k_3 , k_4 e k_5 da equação de Hazen Williams modificada. Assim, como as outras abordagens utilizadas apresentaram coeficientes de ajuste diferentes, conforme o material de tubulação avaliado, esta é mais uma vantagem de se utilizar Hazen William para o cálculo da perda de carga.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados e as condições específicas do experimento, concluiu-se que: (a) as viscosidades de todas as concentrações analisadas neste trabalho apresentaram-se menores que a da água; (b) a perda de carga da ARA para as 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 $2,89 \text{ dag L}^{-1}$; (c) os modelos empíricos apresentaram melhores resultados do que o modelo que estima o fator de atrito f ; o

modelo que melhor estimou a perda de carga foi o de Hazen-Williams modificado.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Requisitos mínimos para elaboração de projeto de sistema de irrigação localizada**. São Paulo, ABNT, 1986, 8p. PNBR 12:02.08-022.
- AZEVEDO NETTO, J. M., FERNADEZ, M. F., ARAÚJO, R., ITO, A. E. **Manual de hidráulica** – 8ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 670p, 1998.
- DUFFY, G. G. A review and evolution of design methods for calculating friction loss in stock piping systems. **Tappi**, Atlanta, v. 59, n. 8, p. 124-127, aug, 1976.
- DUFFY, G. G., TITCHENER, A. L. Design procedures for obtaining pipe friction loss for chemical pulps. **Tappi**, Atlanta, v. 57, n. 5, p. 162-166, may, 1974.
- LEE, P. F. W., DUFFY, G. G. An analysis of the drag reducing regime of pulp suspension flow. **Tappi**, Atlanta, v. 59, n. 8, p. 19-123, may, 1976.
- HAZEN, A., WILLIAMS, G. S. **Hydraulic tables**. New York: John Willey & Sons, 1963. 120p.
- SAMPAIO, S. C. **Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo águas residuárias de bovinocultura e suinocultura**. 1999. 158 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.
- 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, mai. 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.
- SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; DIAS, L. R. X. Potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense. **Agropecuária catarinense**, Florianópolis, v.8, n.2, p.35-43, 1995.
- TAGLIAFERRE, C. **Perda de carga em tubos de polietileno e entupimento de microaspersor operando com água residuária de suinocultura**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 75p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- ZINATO, C. E.; DENICULI, W.; SOUZA, J. A. R.; BATISTA, R. O.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, R. A.; FERREIRA, D. C.; SOARES, E. C.. **Caracterização reológica de água residuária de galinha poedeiras**. **Engenharia na Agricultura**, v. 15, p. 179-187, 2007.