

PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES E CONEXÕES CONDUZINDO ÁGUA RESIDUÁRIA DA AVICULTURA

Silvio Cesar Sampaio; Elisandro Pires Frigo; Marcio Antonio Vilas Boas; Manoel M. F. De Queiroz; Benedito Martins Gomes; Larissa Schmatz Mallmann

Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR

1 RESUMO

O presente trabalho visou estimar a perda de carga em tubulações comerciais utilizando como fluido circulante água residuária de avicultura (ARA). As tubulações utilizadas foram de aço galvanizado e PVC, com diâmetros variando entre 32 a 75 mm. Construiu-se bancadas de testes para perdas de carga localizada e distribuída. Registrou-se dados de vazão e pressão para os variados tubos e conexões, utilizando os diferentes materiais. Na avaliação dos dados encontrados, os mesmos foram tabelados e ajustados a modelos potenciais para a perda de carga distribuída e fator “k” para perda de carga localizada. Como parâmetro de comparação e avaliação também foram registrados dados utilizando como fluido circulante água de abastecimento urbano (AAU). A ARA apresentou em média uma diminuição de 42 e 21% no valor do coeficiente “C” de rugosidade da equação de Hazen-Williams, quando comparado com a AAU, para os tubos de PVC e aço galvanizado, respectivamente. Para a perda de carga distribuída, estima-se um aumento que varia de 31 a 8% com a ARA em relação à AAU, porém essa diferença é sujeita a variação da vazão. Nas conexões soldáveis a perda de carga localizada com a ARA foi maior que na AAU, ao contrário das conexões rosqueáveis.

UNITERMOS: perda de carga, irrigação, hidráulica.

**SAMPAIO, S. C.; FRIGO, E. P.; VILAS BOAS, M. A.; QUEIROZ, M. M. F. de;
GOMES, B. M.; MALLMANN, L. S. HEAD LOSSES IN PIPELINES AND
CONNECTIONS CARRYING POULTRY WASTEWATER**

2 ABSTRACT

An appropriate hydraulics system project requires knowledge on liquid behavior in pressurized piping. This work aimed to evaluate head losses in pipelines and connections carrying poultry wastewater. Commercial pipelines made of galvanized iron and PVC and diameters from 1” to 3” were used. Poultry wastewater presented an average decrease of 42 and 21% in Hazen-Williams’s coefficient values, when compared to water in PVC and galvanized iron pipelines, respectively. In general, head loss in all pipelines increased from 31 to 8% with poultry wastewater in relation to water. The connection type affected the results in localized head loss with poultry wastewater.

KEYWORDS: wastewater, irrigation, hydraulics

3 INTRODUÇÃO

Atualmente a irrigação é uma técnica, que além de fornecer água necessária ao desenvolvimento das plantas é usada na aplicação de produtos químicos e controle de salinidade do solo, quando associada com a drenagem agrícola. Além destas, é relativamente comum em países desenvolvidos e inicia-se no Brasil, a aplicação de águas residuárias de estábulos e pocilgas, por meio da irrigação.

Dentre os métodos de irrigação pressurizados, o gotejamento não é recomendado para aplicação de águas residuárias, por causa de constantes entupimentos, principalmente no sistema de filtragem e no final da linha, onde as pressões e velocidades possuem menores valores. Deste modo, os métodos de irrigação pressurizados mais recomendados são aqueles em que são utilizados maiores diâmetros de bocais e maiores velocidades de escoamento.

A aplicação de águas residuárias pode melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, devido ao seu alto teor de matéria orgânica. A sua disposição em solos agrícolas favorece tanto ao produtor, que irá reduzir os custos com a aplicação de fertilizantes e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas a longo prazo, quanto ao meio ambiente, visto que o mesmo é altamente poluente quando jogado diretamente em rios e lagos. Também poderá consistir um fator econômico fundamental para o irrigante, visto que a água captada em lagos e rios passará a ser taxada, de acordo com a nova legislação sobre o uso da água em todos os Estados Brasileiros.

Sabe-se que para o dimensionamento do sistema de irrigação é necessário o conhecimento de dados técnicos específicos do comportamento hidráulico do líquido e também referente ao sistema água-solo-planta-atmosfera da região. O tipo de líquido e conseqüentemente a sua perda de carga em tubulações são fundamentais no dimensionamento das tubulações e das bombas desses sistemas, uma vez que a altura manométrica representa a energia fornecida ao líquido suficiente para vencer o desnível geométrico e as perdas de carga ocorridas ao longo do percurso. O diâmetro dessas tubulações é dimensionado em função da magnitude da perda de carga estipulada pelo projetista. A precisão na determinação dessa perda de carga influenciará nos custos finais do projeto, pois o custo da tubulação está associado diretamente com o seu diâmetro e material.

Segundo o teorema de Bernoulli, um fluido real escoando em condutos forçados e livres sempre terá uma perda de carga ou energia ao longo da tubulação, denominada de perda de carga distribuída ou contínua. Os agentes causadores dessa perda de carga, são os atritos "interno", que é uma consequência da viscosidade do fluido, e aqueles decorrentes do contato entre o fluido e as paredes dos condutos.

Além da perda de carga distribuída, a perda de carga total de um sistema envolve também a perda localizada que ocorre em válvulas, registros, curvas etc. Essa perda de carga localizada tem como causa a turbulência do fluido, gerada por essas peças especiais colocadas ao longo da tubulação, sempre necessárias para realizar qualquer controle.

Sabe-se que as características hidráulicas do escoamento de águas residuárias nas tubulações são praticamente desconhecidas, podendo estar levando técnicos a cometerem erros consideráveis no dimensionamento de sistemas de bombeamento. Existem poucos trabalhos que abordam detalhadamente o assunto, provavelmente, devido ao grau de complexidade envolvido, por se tratar de um fluido com comportamento diferente da água. Nesse contexto, o objetivo do trabalho é avaliar a perda de carga, em tubulações comerciais provocadas pelo escoamento de água residuária proveniente da avicultura (ARA).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Duas bancadas foram construídas para a realização do experimento, uma para perda de carga localizada e a outra para a perda de carga ao longo da tubulação, além de toda uma infra-estrutura de apoio às bancadas, como reservatórios, tubulações, registros, medidores de vazão e pressão. Nas Figuras 1 e 2, tem-se o esquema das bancadas experimentais mostrando o conjunto moto-bomba, tubulações e conexões ensaiadas.

As tubulações utilizadas foram de aço galvanizado, com diâmetros comerciais de 3"; 2" 1/2; 2" e 1", e PVC, com diâmetros de 75, 60, 50 e 32 mm.

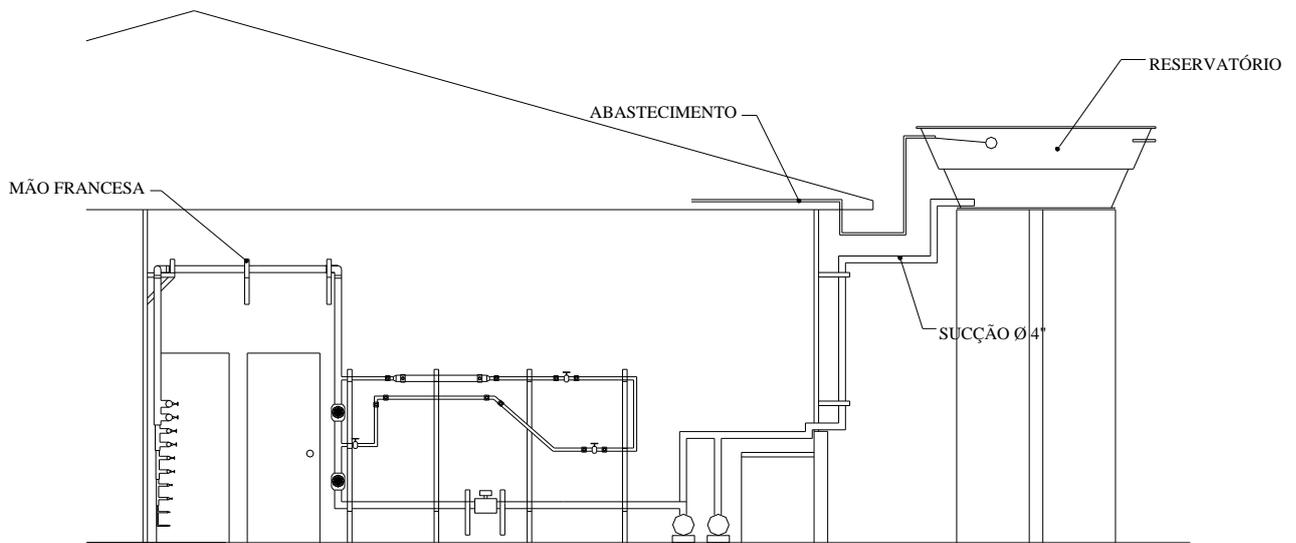


FIGURA 1 - Bancada de perda de carga localizada.

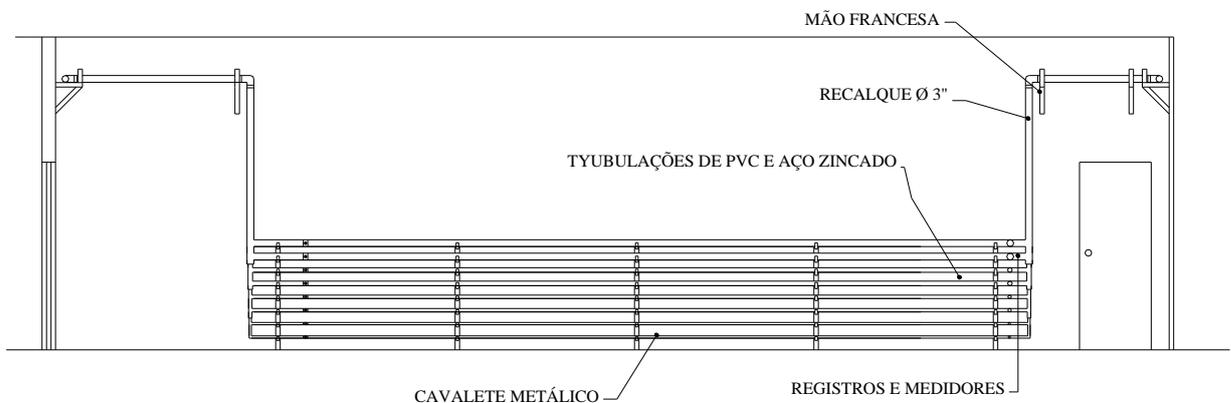


FIGURA 2- Bancada de perda de carga distribuída.

As conexões usadas nas tubulações ensaiadas foram do tipo luva rosqueável, para as tubulações de aço galvanizado e conexões soldáveis para as tubulações de PVC.

Todas as tubulações estudadas foram colocadas em nível na bancada de ensaios, permitindo assim calcular as perdas de carga.

O trecho onde foi avaliada a perda de carga distribuída teve um comprimento útil de 6 m, e os piezômetros estavam localizados no início e no final de cada tubo. Contudo, foram deixados trechos com aproximadamente de 1 m de comprimento situados à jusante e à montante dos trechos úteis, com o intuito de garantir o escoamento plenamente desenvolvido, evitando-se assim possíveis erros durante a leitura nos piezômetros.

A bancada experimental montada para a perda de carga localizada foi construída com apenas um diâmetro comercial, 32 mm, e o material foi PVC, com as seguintes conexões para a avaliação: curva de 90°, curva de 45°, registro de gaveta, registro de esfera, ampliação e redução. A ampliação utilizada foi de uma tubulação de 32 para 50 mm, seguindo de mesma maneira, mas no sentido inverso à redução. Em cada conexão ensaiada, foi instalada duas tomadas de pressão, uma à montante e a outra à jusante.

Na construção das tomadas de pressão foram feitos furos na tubulação, e nesse ponto colocado uma luva de PVC, como é uma peça adaptada externamente na tubulação não provocou perda de carga, por não obstruir ou criar saliência no interior do tubo. Nessas luvas, foi instalado um registro de esfera, para neutralizar o furo da tubulação quando o piezômetro era retirado, e dois manômetros de mercúrio em “U”, um localizado à jusante e outro à montante dos tubos e conexões ensaiados. As bolhas de ar que entravam na mangueira incolor quando o piezômetro era movimentado de uma tomada de pressão para outra eram retiradas usando um mecanismo de suspiro instalado no piezômetro.

Os dados de vazão foram coletados com o uso de um hidrômetro magnético, situado à montante das bancadas de teste, de marca CONAUT, modelo IFS 4000 KC e conversor de sinais de mesma marca modelo IFC 020 K, com diâmetro de 80 mm.

O conjunto moto-bomba foi montado no piso e constituído por um motor elétrico da marca JACUZZI, de 7,5 cv, e uma bomba centrífuga da marca REFAGA, modelo 75 JM3-T, série 42G, com rotor aberto, próprio para fluídos com sólidos.

Cada ensaio foi executado da seguinte forma: o fluido era bombeado para a tubulação através da bomba que trabalhava afogada em relação ao reservatório superior; escoava pela tubulação e conexões, situados nas bancadas de ensaios, em seguida era descarregado no próprio reservatório superior, fechando desta maneira o ciclo.

Em cada tubo e conexão ensaiada foram coletados 5 dados de vazão e respectivas pressões, antes e após trecho ou peça avaliada. Essas observações foram feitas no período de 7 dias, tanto para água limpa, como para ARA.

Na coleta desses dados, primeiramente fixava-se o tubo ou conexão a ser avaliada, acionava-se o conjunto moto-bomba e permitia-se a passagem de fluido. Os dados só eram coletados quando o sistema estabilizava e não houvesse oscilação tanto no medidor de vazão quanto nos manômetros. O procedimento repetia-se para as demais vazões e com os demais tubos e conexões através do fechamento e abertura de registros e alterando-se a posição dos manômetros.

Antes da execução dos ensaios referentes a ARA, foi realizada diariamente a circulação do fluido no sistema, por um período de aproximadamente 15 min, que visava melhorar a homogeneização e reverter a decantação. Fez-se uso de água, para a limpeza de todas as tubulações após os ensaios realizados com ARA.

O material utilizado na ARA foi adquirido em um aviário da região de Cascavel-PR e especificamente da superfície que cobre o piso do aviário no término de um ciclo de criação.

Os ensaios realizados com os tubos comerciais consistiram de combinações obtidas com o fluido escoante, os diâmetros e os tipos de materiais de fabricação. De posse dos dados de pressões e de vazão, avaliou-se o modelo de estimativa da perda de carga, baseado na equação de HAZEN-WILLIAMS para a perda de carga distribuída e do comprimento equivalente para a perda de carga localizada citadas nos trabalhos de (Duffy e Titchener, (1974); Chen e Hashimoto, (1976); Lee e Duffy, (1976) e Azevedo Neto, (1982) e Denículi, (1993)).

Na análise dos dados, primeiramente é descrita a relação entre as pressões medidas e a perda de carga, em que, considerando o balanço de energia em uma tubulação horizontal, de seção transversal constante, com escoamento plenamente estabelecido, chega-se à Equação 1.

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} = h_f \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

p_1 = pressão no início da peça ou trecho avaliado, $M L^{-1} T^{-2}$;

p_2 = pressão no final da peça ou trecho avaliado, $M L^{-1} T^{-2}$;

γ = peso específico do fluido circulante, $M L^{-2} T^{-2}$; e

Δp = diferença de pressão entre o início e o final da tubulação, $M L^{-1} T^{-2}$.

Conforme o modelo descrito anteriormente do manômetro construído no laboratório, existe no mesmo dois fluídos circulantes, um o mercúrio e outro o fluído que passa na tubulação em estudo. Devido a esse fato é preciso levar em consideração o peso específico dos fluídos no cálculo de pressão do manômetro

A perda de carga localizada foi avaliada pelo método de Borda-Bélangier (Equação 2) de acordo com Broadfoot et al. (1994). Sempre que há mudança de direção ou da grandeza da velocidade, há uma perda de carga decorrente da alteração das condições do movimento, a qual se adiciona à perda devida ao atrito. Tais perdas são denominadas acidentais ou localizadas, e podem ser calculadas pela Equação 2.

$$h_a = k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

h_a = perda de carga, m;

K = coeficiente próprio do elemento causador da perda, m;

V = velocidade na canalização;

g = gravidade, $m s^{-2}$.

De posse dos dados coletados para a perda de carga localizada, foi calculado o fator K para cada conexão ensaiada, utilizando a equação 2, onde a perda de carga é calculada pela diferença de pressão como deduzido anteriormente (equação 1), a velocidade definida pela área da tubulação e a vazão.

Conforme metodologia descrita, foram coletados 5 repetições de vazão e respectivas perdas de carga, resultando cinco coeficientes K , para cada teste realizado.

Na análise da perda de carga distribuída utilizou-se a equação de Hazen-Williams, (Equação 3) que segundo Duffy (1976), em geral, as equações empíricas que determinam a

perda de carga, apresentam melhores correlações do que os métodos de correlações gráficas e equações que estimam o fator de atrito.

Os dados coletados para a água de abastecimento urbano e ARA permitiram estimar os coeficientes de rugosidade da equação de Hazen-Williams, isolando “C” da equação 3.

$$h_f = \left(\frac{V}{0,355 C D^{0,63}} \right)^{1,852} L = \left(\frac{4Q}{0,355\pi C D^{2,63}} \right)^{1,852} L \quad (\text{Eq. 3})$$

em que:

C = coeficiente que depende da natureza das paredes do tubo e do seu estado de conservação;

L = comprimento da tubulação, m;

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, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

Adotou-se um procedimento, em que os resultados de perda de carga distribuída foram analisados através de uma função potencial (Equação 4). O intuito foi comparar o expoente da equação encontrado, com as fórmulas da Literatura como a fórmula universal e a de Hazen-Williams.

$$Q = a \cdot hf^b \quad (\text{Eq. 4})$$

em que:

Q = vazão no tubo ($L^3 \cdot T^{-1}$);

hf = perda de carga distribuída (L);

D = diâmetro interno da tubulação, m;

a e b = parâmetros de ajuste.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de sólidos totais nos dados coletados, reflete diretamente nas perdas de carga obtidas no experimento. O valor dos sólidos totais (ST) encontrado na análise foi de $3,49 \text{ g.L}^{-1}$.

Devido ao fato desse trabalho ser de caráter experimental, os resultados serem diretamente afetados pelas características construtivas e pela metodologia aplicada na coleta de dados, alguns pontos devem ser considerados nos resultados obtidos e mencionados para que haja um crescimento gradativo de ordem prática para a realização de novas pesquisas nessa área.

Embora alguns autores já mencionavam em seus trabalhos essa dificuldade, a vazão da moto-bomba do sistema não foi suficiente para produzir perda de carga nas tubulações de maiores diâmetros. A decantação do fluido residuário afetou algumas tubulações de menor diâmetro que apresentaram entupimento, impossibilitando a leitura de alguns dados.

Uma pré-avaliação realizada nos tubos de 3”, alguns de seus dados foram descartados por apresentarem erros de coleta. Um dos fatores foi devido a vazão do sistema ser

insuficiente para proporcionar uma perda de carga considerável, de modo a não ser afetada pelas instabilidades e graduação dos manômetros.

O entupimento ocorrido no tubo de aço galvanizado de 1" impossibilitou a sua avaliação quando conduziu a ARA.

Através da equação de Hazen-Williams estimou-se um valor médio da rugosidade dos tubos, considerando os cinco ensaios e os quatro diâmetros avaliados. (Quadro 1)

QUADRO 1. Coeficiente médio de rugosidade (C) para os tubos de PVC e aço conduzindo água e ARA.

Material	C - Água	C - ARA
PVC	145	102
Aço	121	100

A água apresentou coeficientes médios de rugosidade (C), 42% e 21% maiores que a ARA, para os tubos de PVC e aço galvanizado, respectivamente.

Pode-se notar no Quadro 1 a semelhança dos resultados dos coeficientes "C" da equação de Hazen-Williams para a água, com os encontrados em Neves (1982). Percebe-se que a rugosidade equivalente da ARA é menor que o da água. Portanto a ARA produz uma perda de carga maior que a água, pois o valor de "C" para esse fluido está abaixo dos coeficientes da água para os dois materiais, corroborando com os trabalhos de Herman e Stepanoff, citados por Kumar et al. (1972), Bashford et al. (1977) e Steffe e Morgan (1986).

As equações potenciais para os respectivos tubos e fluidos considerando 5 observações realizadas para os pares de dados de vazão e perda de carga, encontram-se no Quadro 2.

As equações apresentadas no Quadro 2 foram comparadas com as equações Universal e de Hazen-Williams, lembrando que seus expoentes da vazão são 2 e 1,85, respectivamente.

O esperado dos resultados para água era uma proximidade com os valores encontrados na literatura. Os expoentes variaram na faixa de 1,3415 a 2,3212. O tubo ensaiado que obteve o resultado mais bem definido entre esses comparativos foi o tubo de 32 mm que obteve um expoente de 1,7493. Esse resultado já era esperado, pois devido aos parâmetros mencionados anteriormente que justificava a variação dos dados devido à vazão do sistema, pode ser comprovado nessa análise, pois o tubo de menor diâmetro obteve perdas de carga mais visíveis. No entanto, para ARA a variação foi de 0,83 a 2,31.

Utilizando a equação do tubo de PVC 32 mm, que obteve uma melhor correlação de resultados, devido às características e parâmetros do sistema experimental utilizado, pode-se estimar uma porcentagem de aumento de perda da carga em relação à água com o fluido residuário. Assim, adotando uma vazão de $0,001 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, estima-se perdas de carga de 0,65 e 0,70 mca, ou seja, um aumento de 8% de perda de carga quando o tubo conduz ARA. Entretanto para uma vazão de $0,0005 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e usando a mesma equação encontra-se um aumento de 31% quando o tubo de PVC de 32mm conduz ARA.

Deste modo, em geral, pode-se definir que a diferença entre a perda de carga da ARA em relação à água é maior, porém essa diferença varia conforme a vazão, ou seja, mais lento o escoamento, maior a influência do tipo de fluido. Fato este é explicado por SAMPAIO (1999), quando cita que o escoamento é próximo ao turbulento liso. Para vazões menores a influência dos sólidos totais é maior na perda de carga e menor nas vazões maiores.

QUADRO 2. Equações potenciais ($h_f \times Q$) para os diferentes tubos e fluidos avaliados.

Peça	Fluído	Equação estimada	R ²
Tubo 1 (75 mm PVC)	Água	Não avaliado	-
Tubo 1 (75 mm PVC)	ARA	$hf = 516,41Q^{1,6035}$	0,9342
Tubo 2 (3" aço)	Água	$hf = 382,32Q^{1,3822}$	0,9562
Tubo 2 (3" aço)	ARA	$hf = 163,06Q^{1,3142}$	0,9256
Tubo 3 (60 mm PVC)	Água	$hf = 178421Q^{2,3212}$	0,9531
Tubo 3 (60 mm PVC)	ARA	$hf = 793,02Q^{1,4787}$	0,9489
Tubo 4 (2"1/2 aço)	Água	Não avaliado	-
Tubo 4 (2"1/2 aço)	ARA	$hf = 157,51Q^{1,0392}$	0,9263
Tubo 5 (50 mm PVC)	Água	$hf = 1060,3Q^{1,3415}$	0,9654
Tubo 5 (50 mm PVC)	ARA	$hf = 557,63Q^{0,8288}$	0,9412
Tubo 6 (2" aço)	Água	$hf = 327929Q^{2,2119}$	0,9521
Tubo 6 (2" aço)	ARA	$hf = 592787Q^{2,31}$	0,9358
Tubo 7 (32 mm PVC)	Água	$y = 110651Q^{1,7493}$	0,9752
Tubo 7 (32 mm PVC)	ARA	$y = 30106Q^{1,5425}$	0,9642
Tubo 8 (1" aço)	Água	$y = 94544Q^{1,6653}$	0,9782
Tubo 8 (1" aço)	ARA	Não avaliado	-

O Quadro 3 apresenta os valores de "K" para diversas conexões conduzindo água e ARA.

QUADRO 3. Valores de "K", obtidos para as conexões avaliadas conduzindo água e ARA.

Peça	"K" – Água	"K" - ARA
Curva 90°	1,46	1,70
Curva 45°	0,60	1,17
Registro Esfera (Aberto)	2,64	2,30
Registro Gaveta entreaberto	9,30	8,68
Registro Esfera (Aberto)	0,8	0,84
Ampliação 32x50	0,006	0,012
Redução 50x32	1,20	2,14

Observou-se que nas conexões soldáveis a perda de carga localizada com a ARA foi maior que na água, ao contrário das conexões rosqueáveis. Porém, de modo geral, a ARA apresentou maiores perdas de cargas localizadas que a água nas conexões. Resultados semelhantes foram encontrados por Broadfoot et al., 1994).

6 CONCLUSÕES

A ARA apresentou em média uma diminuição de 42% e 21% no valor do coeficiente “C” de rugosidade da equação de Hazen-Williams, quando comparado com a água, para os tubos de PVC e aço galvanizado, respectivamente.

A perda de carga distribuída apresentada pela ARA foi maior que para água, porém o aumento é função do regime de escoamento.

Para a perda de carga distribuída, estima-se um aumento que varia de 31 a 8% com a ARA em relação à água, porém essa diferença é sujeita a variação da vazão.

A perda de carga localizada encontrada no experimento para água foi maior que aquelas encontradas na literatura.

Nas conexões soldáveis a perda de carga localizada com a ARA foi maior que na água, ao contrário das conexões rosqueáveis.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq responsável pelo financiamento que possibilitou a realização desta pesquisa.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNEY, M.S. et al. Friction Factor And Holdup Studies For Lubricated Pipelining – Experiments and Correlations. **Journal Multiphase Flow**, London, v. 19, n.6, p.1061-1076, 1993.

AZEVEDO NETO, J. M. **Manual de Hidráulica**. 7.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 336 p.

BASHFORD, L. L., et al. Effects of Ration Roughage Content on Viscosity and Theoretical Head Losses in Pipe Flow for Beef Cattle Slurry. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 20, n. 6, p.1106-1109, 1977.

BOURNE, M. C. **Food Texture and Viscosity (Concept and Management)**. New York:Academic Press, 1982. 325 p.

BROADFOOT, R., et al. Pressure losses in pipe fittings at low Reynolds number. In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS HELD AT TOWNSVILLE, 1994, Queensland. **Proceedings...** Queensland: Sugar Research Institute, 1994. p. 330-339.

CHEN, Y. R.; HASHIMOTO, A. G. Rheological Properties of Aerated Poultry Waste Slurries. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.19, n.5, p.128-133, 1976.

DENÍCULI, W. **Hidráulica-Eng.341**. Viçosa: UFV, 1993. 162 p. Apostila.

DUFFY, G. G. A Review and Evaluation 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.

HAZEN, A.; WILLIAMS, G. S. **Hydraulic tables**. New York:John Wiley, 1963. 120p.

HERUM, F. L.; ISAACS, G. W.; PEART, R. M. Flow Properties of Highly Viscous Organic Pastes and Slurries. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.2, p.45-51, 1966.

HUGHES, W. F.; BRIGHTON, J. A. **Dinâmica dos fluidos**. São Paulo:McGraw-Hill, 1974. 358p.

KUMAR, M.; BARTELETT, H. D.; MOHSENIN, N. N. Flow properties of animal waste slurries. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.2, p.718-722, 1972.

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.119-123, Aug., 1976.

NEVES, T. E. **Curso de hidráulica**. 7.ed., Rio de Janeiro:Globo, 1982. 577p.

SAMPAIO, S.C. **Perda de Carga em Tubulações Comerciais Conduzindo Águas Residuárias de Bovinocultura e Suinocultura**. 1999. 158f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

STEFFE, J. F.; MORGAN, R. G. Pipeline design and pump selection for non-Newtonian fluid foods. **Food Technology**, Chicago, v.40, n.12, p.78-85, 1986.