



Perda de carga em tubulação de polietileno, conduzindo água residuária de suinocultura¹

Cristiano Tagliaferre², Rubens A. de Oliveira³, Wilson Deniculi³ & Paulo R. Cecon⁴

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se ajustar equações para cálculo da perda de carga contínua em tubulações de polietileno, conduzindo água residuária de suinocultura com concentrações iguais a 1,15; 1,24; 1,43; e 1,75 g L⁻¹ de sólidos totais. A perda de carga foi determinada em tubulações de polietileno, com diâmetros internos de 12,62; 15,47; 19,79 e 25,76 mm, por meio de quatro piezômetros, distanciados 4 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 igual a 0,99. Desta maneira, recomenda-se a sua aplicação no dimensionamento de projetos com tubulações de polietileno.

Palavras-chave: efluentes, sólidos totais, hidráulica

Head loss in polyethylene pipelines carrying swine wastewater

ABSTRACT

The objective of this work was to adjust equations to calculate continuous head loss in polyethylene pipelines carrying swine wastewater with concentrations of 1.15; 1.24; 1.43 and 1.75 g L⁻¹ of total solids. The head loss was determined in polyethylene pipelines, with internal diameters of 12.62; 15.47; 19.79 and 25.76 mm, by means of four piezometers, 4 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 equivalent to 0.99, therefore, its application is recommended to design of projects with polyethylene pipelines.

Key words: effluents, total solids, hydraulics

¹ Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa

² Doutorando do DEAg/UFV. Viçosa, CEP 36570-000. Fone: (31) 3892-3959. E-mail: tagliaferre@yahoo.com.br

³ DEAg/UFV. Fone (31) 3899-2729. E-mails: rubens@ufv.br; deniculi@ufv.br

⁴ DPI/UFV. Fone. (31) 3899-1781. E-mail: cecon@dpi.ufv.br

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a expansão e intensificação da atividade suinícola nacional, representadas pela maior concentração de animais por unidade de área trouxeram, como consequência, o aumento do volume de dejetos produzidos nas granjas. Em muitas situações, a disposição inadequada da água residuária tem provocado grandes problemas de poluição ambiental nos mananciais de água, devido à presença excessiva de matéria orgânica e nutrientes, além de patógenos e metais pesados (Scherer et al., 1995), constituindo fator de risco para a saúde animal e humana, além de obstáculo à expansão da suinocultura, como atividade econômica, mas os dejetos de suínos, se manejados adequadamente, podem tornar-se alternativa econômica para a propriedade rural, sem comprometimento da qualidade ambiental, por meio da fertilização dos solos.

Geralmente, a disposição de água residuária no solo é feita por meio de sistemas de irrigação por superfície e aspersão. Apesar desses métodos serem eficientes, eles possuem, no entanto, limitações relacionadas à contaminação de culturas, do homem (por meio do contato direto com o efluente) e do ar. Ao contrário, a aplicação localizada possibilita a minimização dos riscos de contaminação do homem e do meio, além de proporcionar maior uniformidade de distribuição, possibilitando também maior precisão na aplicação dos efluentes.

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

Hughes & Brighton (1974) mencionaram que o escoamento turbulento da mistura de sólidos em água, em que a fase sólida não é muito dispersa, pode produzir menores coeficientes de atrito que no escoamento turbulento de água; isto ocorre porque fluidos dessa natureza apresentam perfil de velocidade mais achatado que os fluidos newtonianos adquirindo, no escoamento em tubulações, a forma de “rolha”, isto é, forma-se uma camada de fluido estacionado em torno da parede da tubulação, diminuindo o efeito da rugosidade. Em estudos envolvendo esterco de bovino líquido, Staley et al. (1971) concluíram que as propriedades reológicas do esterco dependem do conteúdo de sólidos totais e que, em concentrações abaixo de 35 g L^{-1} , a perda de carga foi menor que na água limpa.

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, ainda, 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 polietileno, conduzindo água residuária de suinocultura, com 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 polietileno, com diâmetros internos de 12,62; 15,47; 19,79; e 25,76 mm, correspondendo aos diâmetros nominais de 13, 16, 20 e 26 mm, respectivamente. Todas as tubulações foram operadas com água proveniente de poço artesiano, doravante simplesmente chamada água, sendo a água residuária de suinocultura denominada (ARS).

A perda de carga foi avaliada, em um comprimento útil de 12 m de tubulação, por quatro piezômetros, constituídos de mangueiras de 20 mm de diâmetro, distanciados 4 m ao longo da tubulação. As diferenças nas leituras dos meniscos de dois piezômetros consecutivos permitiram a determinação da perda de carga simultaneamente, nos três trechos da tubulação. No início de cada tubulação (2,5 m à montante do primeiro piezômetro) foi instalada uma válvula de gaveta para controle da vazão, aferida pelo método volumétrico, fazendo-se três repetições. O recipiente usado para medir o volume escoado estava localizado 3 m à jusante do último piezômetro.

A água residuária usada no experimento possuía uma concentração de sólidos totais de $1,75 \text{ g L}^{-1}$ e provinha de um tanque de sedimentação de uma granja de suínos; sua filtração em telas de 80, 60 e 40 mesh, resultou nas concentrações de 1,15; 1,24; e $1,43 \text{ g L}^{-1}$, respectivamente.

Em cada ensaio foram coletados 20 pares de dados de vazão e perda de carga, em cada diâmetro de tubulação e concentração de sólidos totais estudados.

Ajustaram-se as equações de perda de carga utilizando-se dados cujos valores de velocidade variaram de $0,40$ a $2,56 \text{ m s}^{-1}$. A partir dos dados de perda de carga, concentração de sólidos totais, vazão, coeficiente de Hazen-Williams (C) e diâmetro, estimaram-se os coeficientes do modelo de Duffy & Titchener (1974) e Hazen-Williams modificado, utilizando-se o procedimento de regressão não-linear (Gauss Newton). As análises estatísticas foram processadas através do programa estatístico SAEG, versão 5.0/1993, desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

a) Modelo de Duffy & Titchener (1974)

Trata-se de um modelo empírico 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, de acordo com a equação abaixo:

$$J = \beta_1 V^{\beta_2} ST^{\beta_3} D^{\beta_4} \quad (1)$$

em que:

J – perda de carga unitária, $m\ m^{-1}$

V – velocidade média do escoamento, $m\ s^{-1}$

ST – concentração de sólidos totais, $g\ L^{-1}$

D – diâmetro interno da tubulação, m

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – constantes características do fluido, adimensionais

b) Modelo de Hazen-Williams modificado

É o modelo de Hazen-Williams adaptado para água residuária de bovinocultura e suinocultura, como descrito por Sampaio et al. (2000; 2001):

$$J = \frac{k_1(ST)^{k_2} Q^{k_3}}{C^{k_4} D^{k_5}} \quad (2)$$

em que:

J – perda de carga unitária, $m\ m^{-1}$

ST – concentração de sólidos totais, %

Q – vazão média, $m^3\ s^{-1}$

C – coeficiente que depende da natureza das paredes da tubulação e de seu estado de conservação

D – diâmetro interno da tubulação, m

k_1, k_2, k_3, k_4 e k_5 – parâmetros da equação, adimensionais

Os valores de C utilizados no ajuste desta equação foram determinados a partir dos dados levantados em campo e estimados através da equação de Hazen-Williams.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se, na Figura 1, as curvas que relacionam perda de carga unitária e vazão de água e de água residuária de suinocultura, nas concentrações de sólidos totais estudadas, conduzidas em tubulações de diâmetros de 12,62; 15,47; 19,79; e 25,76 mm.

As equações ajustadas relacionando perda de carga unitária com vazão de água e de água residuária de suinocultura, com diferentes concentrações de sólidos totais, nos vários diâmetros estudados, estão apresentadas na Tabela 1.

De acordo com o que está apresentado na Figura 1, a perda de carga provocada pela água foi maior que a causada pela água residuária de suinocultura, nas concentrações de sólidos totais estudadas, corroborando com os estudos de Staley et al. (1971) e de Hughes & Brighton (1974). Zinato (2003) trabalhando com tubulação conduzindo água residuária de avicultura nas concentrações de sólidos totais variando entre 2,58 e 28,94 $g\ L^{-1}$, encontrou valores de

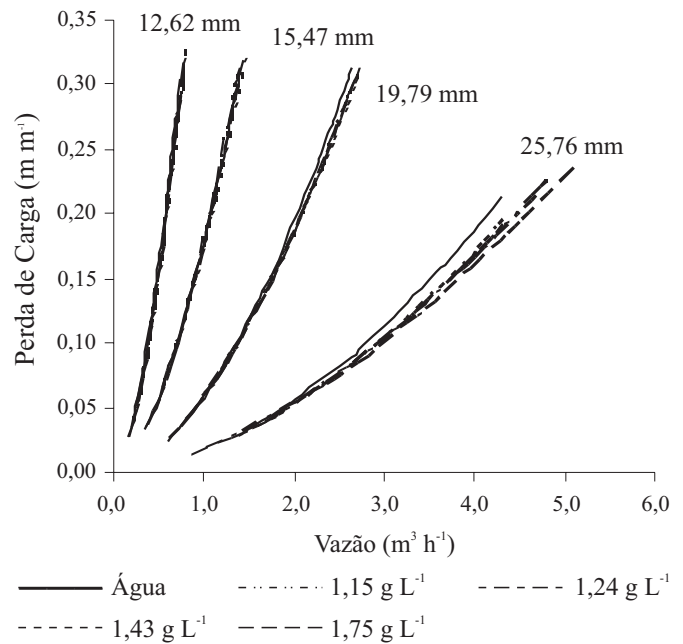


Figura 1. Perda de carga unitária em função da vazão, em tubulação de polietileno com 12,62; 15,47; 19,79; e 25,76 mm de diâmetro, de água e água residuária de suinocultura, nas concentrações de sólidos totais estudadas

perda de carga menores que em água. Segundo este autor, na tubulação de PVC com 79,9 mm de diâmetro a perda de carga para água superou a da água residuária, entre 11 e 26,3%. Esses resultados foram atribuídos à formação de uma camada-limite laminar nas paredes da tubulação, reduzindo o efeito da rugosidade. De acordo com Azevedo

Tabela 1. Equações ajustadas e respectivos coeficientes de determinação da perda de carga (J) em função da vazão (Q), no escoamento de água e água residuária de suinocultura com várias concentrações de sólidos totais, em tubos de polietileno de diversos diâmetros

Diâmetro (mm)	Concentração ($g\ L^{-1}$)	Equação	R ²
12,62	Água	$\hat{J} = 276452,17 Q^{1,6169}$	0,99
	1,15	$\hat{J} = 493105,67 Q^{1,6900}$	0,99
	1,24	$\hat{J} = 485377,90 Q^{1,6894}$	0,99
	1,43	$\hat{J} = 588139,03 Q^{1,7127}$	0,99
	1,75	$\hat{J} = 365687,00 Q^{1,6579}$	0,99
15,47	Água	$\hat{J} = 103631,07 Q^{1,6198}$	0,99
	1,15	$\hat{J} = 154450,74 Q^{1,6699}$	0,99
	1,24	$\hat{J} = 166042,78 Q^{1,6805}$	0,99
	1,43	$\hat{J} = 82377,76 Q^{1,5980}$	0,99
	1,75	$\hat{J} = 212231,58 Q^{1,7126}$	0,99
19,79	Água	$\hat{J} = 72682,52 Q^{1,7119}$	0,99
	1,15	$\hat{J} = 54425,19 Q^{1,6809}$	0,99
	1,24	$\hat{J} = 56032,50 Q^{1,6832}$	0,99
	1,43	$\hat{J} = 44765,14 Q^{1,6547}$	0,99
	1,75	$\hat{J} = 66424,76 Q^{1,7068}$	0,99
25,76	Água	$\hat{J} = 29667,43 Q^{1,7597}$	0,98
	1,15	$\hat{J} = 15241,58 Q^{1,6781}$	0,99
	1,24	$\hat{J} = 12652,02 Q^{1,6539}$	0,99
	1,43	$\hat{J} = 17240,11 Q^{1,6965}$	0,99
	1,75	$\hat{J} = 14952,37 Q^{1,6791}$	0,99

J - $m\ m^{-1}$; Q - $m^3\ s^{-1}$

Netto et al. (1998), a camada laminar também ocorre em escoamento no regime turbulento.

Para verificar a igualdade das equações apresentadas na Tabela 1, utilizou-se o teste de identidade de modelos. Pelos resultados, verificou-se que as equações ajustadas para água e água residuária de suinocultura, nas várias concentrações de sólidos totais, em cada diâmetro utilizado, diferiram estatisticamente a nível de 1% de probabilidade, caso em que os resultados evidenciaram que as equações empregadas no cálculo da perda de carga contínua para a água, não devem ser recomendadas para escoamento de água residuária de suinocultura com concentrações de sólidos totais, variando de 1,15 a 1,75 g L⁻¹, em tubulações de polietileno.

Modelos ajustados

Seguindo-se o modelo proposto por Duffy & Titchener (1974), estimaram-se os parâmetros β_1 , β_2 , β_3 e β_4 da equação de perda de carga para escoamento de água residuária de suinocultura, em tubulação de polietileno:

$$\hat{J} = 0,00038 V^{1,64892} ST^{0,10006} D^{-1,31146} \quad R^2 = 0,99 \quad (3)$$

em que:

\hat{J} – estimativa da perda de carga unitária, m m⁻¹

V – velocidade média do escoamento, m s⁻¹

ST – concentração de sólidos totais, g L⁻¹

D – diâmetro interno da tubulação, m

A Equação 3 foi ajustada para concentração de sólidos totais expressa em g L⁻¹, em decorrência dos baixos valores resultantes da passagem da água residuária de suinocultura em telas com malhas de 40, 60 e 80 mesh, com a finalidade de seu uso em sistemas de irrigação localizada.

Analisando-se os valores dos expoentes das variáveis da equação anterior, constatou-se que eles estão próximos dos encontrados por Sampaio et al. (2001) para tubulação de PVC e concentração de sólidos totais em %, operando com água residuária de suinocultura, cujos valores são iguais a 1,781; 0,116 e -1,082, para velocidade, concentração de sólidos totais e diâmetro, respectivamente. Sendo assim, constata-se que a perda de carga praticamente não foi afetada pela concentração de sólidos totais da água residuária de suinocultura, mesmo considerando o seu escoamento em tubulação de PVC e polietileno.

A equação de Hazen-Williams modificada, obtida para o cálculo da perda de carga em tubulação de polietileno conduzindo água residuária de suinocultura, pode ser expressa como:

$$\hat{J} = \frac{0,17247 ST^{0,01858} Q^{1,77383}}{C^{1,08326} D^{4,7843}} \quad R^2 = 0,99 \quad (4)$$

em que:

\hat{J} – estimativa da perda de carga unitária, m m⁻¹

ST – concentração de sólidos totais, g L⁻¹

Q – vazão média, m³ s⁻¹

C – coeficiente que depende da natureza das paredes da tubulação e de seu estado de conservação

D – diâmetro interno da tubulação, m

Atentando-se para a Equação 4, observa-se que a perda de carga é pouco influenciada pelas concentrações de sólidos totais e que os coeficientes da vazão (Q) e do diâmetro (D) estão próximos dos valores apresentados por Hazen & Williams (1963), ou seja, 1,852 e 4,87, respectivamente, evidenciando que não existe interação dessas variáveis com a concentração de sólidos totais de água residuária de suinocultura. Sampaio et al. (2001) encontraram valores do expoente da vazão, do coeficiente de Hazen-Williams e do diâmetro, iguais a 1,789; 1,172 e 4,589, respectivamente, para escoamento de água residuária de suinocultura em tubulações de aço zincado, ferro galvanizado e PVC, utilizando-se a concentração de sólidos totais expressa em %.

Os valores dos coeficientes de determinação dos modelos empíricos de Duffy & Titchener (1974) e Hazen-Williams modificada, foram iguais a 0,99, evidenciando que as equações apresentaram excelentes ajustes, corroborando com a citação de Duffy (1976).

Os valores do coeficiente C de Hazen-Williams oscilaram entre 137 e 156 para polietileno, nos vários diâmetros e concentrações de sólidos totais estudados, inviabilizando o ajuste de uma equação com valor médio. Os resultados obtidos usando-se a equação com C médio, foram comparados com os da Eq. 4, por meio do teste “t”. Testaram-se as hipóteses H₀: $\beta_1 = 1$ e H_a: $\beta_1 \neq 1$, para Y = X, e se constatou que os resultados diferiram a 1% de probabilidade, com superestimação da perda de carga.

A Tabela 2 apresenta os valores médios de C de cada diâmetro da tubulação, nas diversas concentrações de sólidos totais, bem como a média geral de cada diâmetro, podendo ser empregados na Eq. 4 para cálculo da perda de carga contínua.

Tabela 2. Valores do coeficiente de Hazen-Williams (C) para tubulação de polietileno com vários diâmetros e concentrações de sólidos totais

Diâmetro (mm)	Concentrações de Sólidos Totais (g L ⁻¹)				C (Médio)
	1,15	1,24	1,43	1,75	
12,62	137	138	139	139	138
15,47	144	146	148	148	146
19,79	149	147	149	148	148
25,76	153	156	154	154	154

De modo geral, ocorreram variações expressivas nos valores do coeficiente de Hazen-Williams para escoamento de água residuária de suinocultura nos diferentes diâmetros e nas concentrações de sólidos totais estudadas. Azevedo Netto & Alvarez (1982) e Pizarro Cabello (1990) recomendaram usar-se C igual a 140 e 150, respectivamente, para escoamento de água. Mello & Carvalho (1998) encontraram valores do coeficiente de rugosidade (C) variando de 118 a 140 para água em tubulações de polietileno com 12 mm de diâmetro, no regime de escoamento turbulento. De acordo com esses autores, tais valores evidenciaram as grandes amplitudes desse coeficiente para o mesmo material, mesma temperatura e mesmo diâmetro, alterando apenas a velocidade.

Azevedo Netto & Alvarez (1982), Bernardo (1995), Kamand (1988) e Keller & Bliesner (1990) citaram que a equação de Hazen-Williams não deve ser empregada para cálculo da perda de carga em tubulações com diâmetros menores que 50 mm, podendo ocasionar imprecisões nos cálculos. No presente estudo e apesar de haver ocorrido variações nos valores de C, a equação de Hazen-Williams modificada, usada para cálculo da perda de carga contínua em tubulações de polietileno conduzindo água residuária de suinocultura, com diferentes concentrações de sólidos totais, ajustou-se bem aos dados experimentais, podendo ser recomendada nas condições mencionadas.

Pelos resultados apresentados na Tabela 2, vê-se que os valores médios do coeficiente de Hazen-Williams (C) aumentaram com o acréscimo do diâmetro da tubulação, para uma mesma concentração de sólidos totais, corroborando com os resultados obtidos por Kamand (1988) para água em tubulação de PVC; neste caso, recomendam-se os valores de C médios iguais a 138, 146, 148 e 154 para os diâmetros de 12,62; 15,47; 19,79 e 25,76 mm, respectivamente.

Os coeficientes dos dois modelos avaliados foram estimados envolvendo observações de valores de velocidades variando entre 0,40 e 2,56 m s⁻¹. De acordo com Azevedo Netto & Alvarez (1982), em águas que contêm material em suspensão a velocidade não deve ser inferior a 0,5 m s⁻¹, para evitar sedimentação nas tubulações.

CONCLUSÕES

1. A perda de carga da água residuária de suinocultura, em todas as concentrações de sólidos totais estudadas, foi menor que a da água.
2. A baixa concentração de sólidos totais da água residuária de suinocultura usada em tubulações de polietileno de sistema de irrigação localizada praticamente não afetou a perda de carga.
3. O coeficiente de Hazen-Williams (C) variou de forma acentuada num mesmo material, nos vários diâmetros e concentrações de sólidos totais estudados, inviabilizando o ajuste de uma equação com um valor médio para polietileno.
4. As equações da perda de carga obtidas pelos modelos de Duffy e Titchener e Hazen-Williams modificada, apresentaram bons ajustes, obtendo-se coeficiente de determinação igual a 0,99.

LITERATURA CITADA

- Azevedo Netto, J. M.; Alvarez, G. A. Manual de hidráulica. 7.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 336p.
- Azevedo Netto, J. M.; Fernandez, M. F.; Araújo, R.; Ito, A. E. Manual de hidráulica. 8.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 670p.
- Bernardo, S. Manual de irrigação. 6.ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.
- Duffy, G. G. A review and evaluation of design methods for calculations friction loss in stock piping systems. Tappi, Atlanta, v.59, n.8, p.124-127, 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, 1974.
- Hazen, A.; Williams, G. S. Hydraulic tables. New York: John Wiley & Sons, 1963. 120p.
- Hughes, W. F.; Brighton, J. A. Dinâmica dos fluidos. São Paulo: Mcgraw-Hill, 1974. 358p.
- Kamand, F. Z. Hydraulic friction factors for pipe flow. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.114, n.2, p.311-323, 1988.
- Keller, J.; Bliesner, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Avibook, 1990. 649p.
- Mello, C. D. de; Carvalho, J. A. Análise da equação de perda de carga de Hazen-Williams, associada aos regimes hidráulicos para tubos de PVC e polietileno de pequeno diâmetro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, n.3, p.247-252, 1998.
- Pizarro Cabello, F. Riegos localizados de alta frecuencia. 2.ed. Madrid: Mundi Prensa, 1990. 471p.
- Sampaio, S. C.; Deniculi, W.; Oliveira, R. A.; Silva, D. D. da; Ceccon, 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. da; Matos, A. T.; Martinez, M. A. Perda de carga contínua em tubulações conduzindo água residuária da suinocultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 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.
- Staley, L. M.; Bulley, N. R.; Windt, T. A. Pumping characteristics, biological and chemical properties of dairy manure. ASAE Publication Proceeding, St. Joseph, n.271, p.142-145, 1971.
- Zinato, C. E. Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo água residuária de avicultura. Viçosa: UFV, 2003. 136p. Dissertação Mestrado