

## COEFICIENTES DE ATRITO PARA O ESCOAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DO PROCESSAMENTO DE CAFÉ EM TUBOS DE PVC

Jacinto de Assunção Carvalho<sup>2</sup>; Reinaldo Freitas Aquino<sup>3</sup>; Geraldo Magela Pereira<sup>4</sup>;

<sup>1</sup> Trabalho financiado pela Fapemig

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup>. Agrícola, Prof. Associado II, bolsista CNPq, DEG- UFLA, Lavras, MG. (0XX35) 3829.1489 [jacintoc@ufla.br](mailto:jacintoc@ufla.br)

<sup>3</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola, DEG-UFLA, Lavras, MG. [reifaquino@gmail.br](mailto:reifaquino@gmail.br)

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup>. Agrícola, Prof. Associado II, DEG- UFLA, Lavras, MG. (0XX35) 3829.1389 [geraldop@ufla.br](mailto:geraldop@ufla.br)

**RESUMO:** Foram conduzidos ensaios no Laboratório de Hidráulica, do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, visando determinar a perda de carga distribuída e avaliar a variação dos coeficientes de atrito, das equações Universal e de Hazen-Williams, em tubulações comerciais de PVC, conduzindo águas residuárias do processamento do café (descascamento e demucilagem). Os resultados apontaram um aumento da perda de carga quando se utilizou a água residuária em comparação àquela obtida com a condução de água limpa; maiores perdas de carga foram observadas para a água residuária advinda da demucilagem; o coeficiente “C” da equação de Hazen-Williams variou de 125 (água de demucilagem e diâmetro 25 mm) a 148 (água residuária do descascamento e diâmetro 75 mm).

**Palavras chave:** perda de carga, coeficiente de atrito, água residuária, café

### FRICITION FACTOR TO COFFEE PROCESSING WASTERWATER FLOWING IN PVC PIPES

**ABSTRACT:** Tests were conducted in the Hydraulics Laboratory of the Federal University of Lavras, to determine the head loss and the friction factor of the Universal and Hazen-Williams equations, in PVC commercials pipes conducting coffee processing wastewater. The results apointed an increasing of the head loss when it was utilized the coffee wastewater in comparison with the water; bigger head losses were observed with coffee wastewater despulping; the Hazen-Williams equation C coefficient varied from 125 (despulping wastewater and 25 mm diameter) to 148 (peeling wastewater and 75 mm diameter).

**Key words:** head loss, friction coefficient, wastewater, coffee.

### INTRODUÇÃO

A atividade de lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro, necessária para a obtenção de redução de custo de secagem dos grãos e melhoria na qualidade da bebida, é geradora de grandes volumes de águas residuárias, ricas em constituintes orgânicos e inorgânicos. Devido ao elevado poder poluente que estas águas detêm, torna-se inadmissível o seu lançamento, sem tratamento, em corpos hídricos. A utilização em áreas de cultivo pode representar importante alternativa ao destino final destas águas residuárias, além de contribuir para a redução do volume de água captada em rios ou lagos para fins de irrigação. Entretanto, projetos de irrigação ou de tratamento de águas residuárias requerem dados técnicos referentes à situação encontrada na prática. O tipo de fluido e, conseqüentemente, a sua perda de carga em tubulações são fundamentais no dimensionamento das tubulações desses sistemas (Carvalho, 2000). As características hidráulicas do escoamento de águas residuárias nas tubulações são praticamente desconhecidas, podendo levar técnicos a cometer erros consideráveis de dimensionamento. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivos: a) determinar a perda de carga distribuída em tubulações comerciais de PVC de diferentes diâmetros, operando com água pura e com diferentes concentrações de águas residuárias provenientes do descascamento e da demucilagem do café; b) avaliar a variação dos coeficientes de atrito das equações Universal e de Hazen-Williams, nas mesmas condições citadas acima.

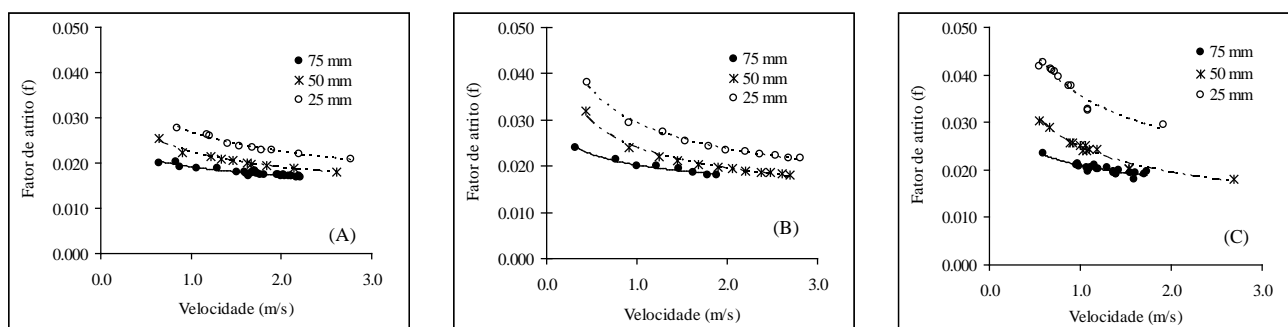
### MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em uma bancada de ensaio constituída de caixas d'água, tubulações e medidores de vazão e pressão. A pressurização do sistema foi feita por meio de um conjunto motobomba constituído de uma bomba marca FAL modelo FM 0605 de 5 cv e 3500 rpm. Foram utilizadas tubulações PVC nos diâmetros comerciais de 25, 50 e 75 mm. Para cada diâmetro do tubo foram realizados testes com diferentes valores de vazão. Utilizou-se um trecho reto de tubulação para avaliação da perda de carga, com as tomadas de pressão localizadas no meio de cada tubo da extremidade e distantes 25 m entre si, e, de 3 m de qualquer singularidade, evitando o efeito de

turbulências externas à área de interesse. A medição da vazão foi feita por meio de medidores de placa de orifício, construídos e previamente calibrados. A perda de carga foi determinada para cada tubulação, sob diversos valores de velocidade de escoamento. Para grau de abertura do registro situado à saída da bomba, eram obtidas: vazão em cada tubo, por meio da leitura da deflexão no manômetro diferencial do medidor de vazão; e, perda de carga, por meio da deflexão da coluna de mercúrio do manômetro diferencial. Utilizando-se os valores da perda de carga, foram obtidos os coeficientes de atrito “f” e “C”, das equações Universal e de Hazen-Williams. Os fluidos avaliados no experimento foram água limpa e águas residuárias do processamento do café (descascamento e demucilagem). A caracterização do fluido escoante foram feita a partir de amostras coletadas na metade do tempo de cada ensaio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de sólidos totais presentes nas águas residuárias da demucilagem (0,61%) e do descascamento (1,09%) é considerada pequena, especialmente, quando comparada às quantidades presentes em outras águas residuárias, como por exemplo no trabalho desenvolvido por SOCCOL (1996), onde a concentração do esterco líquido suíno variou entre 0,94% e 7,77%. Os valores da massa específica das águas residuárias ficaram bastante próximos ao da água limpa (diferenças inferiores a 0,5%), sendo, para efeito prático, neste trabalho, consideradas iguais. Na Na Figura 1, observa-se que, considerando uma faixa de velocidades mais usual (1 a 2 m/s) o valor do fator de atrito “f” varia pouco, especialmente para águas limpa e residuária do descascamento e diâmetros maiores (50 e 75 mm). Para água residuária da demucilagem a variação do fator de atrito “f” é sensivelmente maior; o uso de um valor médio para a faixa de velocidades usuais poderia incorrer em grandes erros de estimativa da perda de carga. As águas provenientes do descascamento e da demucilagem apresentam uma resistência (inércia) ao escoamento cuja intensidade é diminuída à medida que a velocidade ou diâmetro da tubulação aumenta.



**Figura 1** - Variação do coeficiente de atrito “f” da equação Universal, em função da velocidade (m/s) e de diferentes diâmetros (mm) da tubulação, para água (A), água residuária do descascamento (B) e da demucilagem (C).

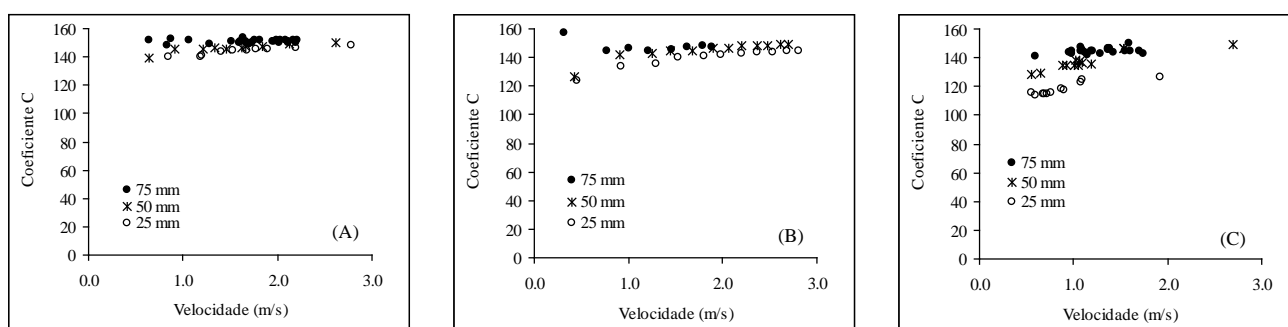
Na Tabela 1 são apresentados os percentuais do aumento da perda de carga em relação à água limpa, quando o fluido é água residuária de descascamento e de demucilagem, em função da velocidade de escoamento e do diâmetro da tubulação. Com velocidades mais usuais (entre 1 e 2 m/s), o acréscimo (%) na perda de carga, em relação àquela obtida com água, varia de 4% a 23% para diâmetros de 75mm com água de descascamento e de 25 mm com água da demucilagem, respectivamente.

**Tabela 1** – Aumento percentual da perda de carga para água residuária de descascamento e de demucilagem do café em relação à água limpa, em função da velocidade de escoamento e do diâmetro da tubulação.

Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)					
	Demucilagem			Descascamento		
	25	50	75	25	50	75
0,5	34,57	14,19	9,23	11,05	7,69	5,47
1,0	26,62	11,32	7,44	8,21	5,82	4,15
1,5	22,39	9,63	6,35	6,61	4,71	3,33
2,0	19,61	8,45	5,56	5,52	3,93	2,74
2,5	17,58	7,56	4,95	4,72	3,33	2,28

Observa-se, na Figura 2, pequena variação do coeficiente “C” para a água limpa (A) ou água residuária do descascamento (B), especialmente para os diâmetros de 50 e 75 mm. Entretanto, quando o fluido é a água de

demucilagem o valor de “C” apresenta variações mais pronunciadas (Figura 2-C). O valor do coeficiente “C” da equação de Hazen-Williams, para água, ficou próximo a 150 (para tubos de PVC de 25 a 75 mm). É importante ressaltar que a equação de Hazen-Williams é recomendada para tubos com diâmetro mínimo de 50 mm. Os valores de “C” encontrados no presente trabalho ficaram próximos ao limite superior daqueles encontrados na literatura (150), mesmo quando se utilizou diâmetro de 25 mm (abaixo do limite de recomendação da equação de Hazen-Williams). MELLO e CARVALHO (1998) obtiveram valores do coeficiente “C” variando entre 130 e 150 para velocidades até 3 m/s utilizando tubos de PVC de 25 mm, SAMPAIO (1999) encontrou valores de “C” entre 140 e acima de 160, para água em tubulações de PVC com diâmetros entre 52,6 e 153,4 mm, PERES e SUZAKI (1988) encontraram C igual a 157 para tubos de PVC conduzindo vinhaça. A água resultante da demucilagem apresenta uma viscosidade maior que aquela proveniente do descascamento e, esta, por sua vez, é maior que a da água, causando, com isso, um aumento da resistência ao escoamento. Os menores valores do coeficiente “C” em relação à água, obtidos neste trabalho, refletem este comportamento. Para uma tubulação de 25 mm, com água de demucilagem, o coeficiente “C” é 125 (13,19% menor que aquele para a água na mesma tubulação), a perda de carga poderá atingir valores, aproximadamente, 30% acima da aquela obtida quando o fluido escoante for a água (Tabela 3).



**Figura 2** – Variação do coeficiente “C” da equação de Hazen-Williams, em função da velocidade (m/s) e de diferentes diâmetros (mm) da tubulação, para água (A), água residuária do descascamento (B) e da demucilagem (C).

**Tabela 3** – Valores médios do coeficiente de rugosidade “C” da equação de Hazen-Williams para água limpa e residuária (descascamento e demucilagem), e, aumento percentual da perda de carga (hf), em relação à água limpa, para cada do diâmetro (mm) do tubo

Diâmetro mm	Água “C”	Descascamento		Demucilagem	
		“C”	% hf	“C”	% hf
75	151	148	3,79	145	7,80
50	146	145	1,28	138	11,00
25	144	140	5,36	125	29,96

A adoção de “C” igual a 140, conforme recomendado na literatura (tubulações de plástico), estaria, ainda, superestimando a perda de carga, exceto para os diâmetros de 25 e 50 mm transportando água de demucilagem. Entretanto, estes valores, embora maiores, se situam próximos de 140. A adoção deste último para a estimativa da perda de carga para diâmetros maiores que 25 mm, pode, como medida prática, ser adotada.

## CONCLUSÕES

O fator de atrito “f” e, conseqüentemente, a perda de carga, apresentaram maiores valores, 5 a 35% para água de demucilagem, e, de 2,5 a 11% para água proveniente do descascamento, para velocidades de escoamento entre 0,5 e 2,5 m/s e diâmetros variando de 75 a 25 mm; o coeficiente “C” de Hazen-Williams variou de 125 (água de demucilagem e diâmetro 25 mm) a 148 (descascamento e diâmetro 75 mm); a adoção de um valor “C” igual a 140 representa uma simplificação prática para estimativa da perda de carga; o escoamento da água residuária do processamento promoveu uma perda de carga maior que a ocorrida com a água nas mesmas condições de velocidade e diâmetro; a água residuária da demucilagem do café, embora tenha apresentado menor concentração de sólidos totais em relação àquela proveniente do descascamento, apresentou maiores resistências ao escoamento nas tubulações, conseqüentemente, maiores perdas de carga.

## REFERÊNCIAS

- CARVALHO, J.A. Dinâmica dos fluidos e hidráulica. Lavras, MG: UFLA. Impr. Univ. Apostila. 2000. 230 p.
- MELO, C.R.; 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. Campina Grande, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.3, p.247-352, set-dez, 1998.
- PERES, J.G.; SUZAKI, S. Bombeamento de vinhaça: um estudo sobre perda de carga. Rio de Janeiro. Brasil Açucareiro, 106 (3), p.2-8, 1988.
- SAMPAIO, S.C. Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo águas residuárias de bovinocultura e suinocultura. Viçosa, MG: UFV, 1999. 158 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- SOCCOL, J.O. Desempenho de bomba centrífuga operando com esterco suíno líquido. Viçosa, MG: UFV, 1996. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.