



## XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **AValiação da temperatura da água em Teresina-PI e seu impacto na perda de carga em tubulações**

*Carlos Henrique Leal Viana<sup>1</sup>; Francisco Rogeanio Campos de Almeida<sup>1</sup>; Italo Saraiva Gonçalves<sup>1</sup>;  
Roberto José Amorim Rufino Fernandes<sup>1</sup>*

**RESUMO** – A cidade de Teresina/PI, conhecida pela alta temperatura ambiente durante boa parte do ano, possui maiores temperaturas da água, reflexo direto dessa condição climática. Apesar disso, os sistemas hidráulicos da capital piauiense são dimensionados considerando a viscosidade cinemática da água para a temperatura padrão de 20°C. O objetivo do presente trabalho é avaliar erro cometido ao se desconsiderar a temperatura real no cálculo da perda de carga em condutos forçados. Foi observado que a temperatura média da água na rede pública de distribuição é de 33,4°C e de 31,4°C em um sistema predial de água fria. Utilizar a viscosidade a 20°C superestima a perda de carga em valores que podem chegar a mais de 8,0% em escoamentos turbulentos hidraulicamente lisos e mistos segundo a Fórmula Universal da Perda de Carga.

**ABSTRACT**– The city of Teresina/PI, known for high ambient temperature during most of the year, has higher water temperatures, a direct result of this climatic condition. Nevertheless, the hydraulic systems in capital of Piauí are designed considering the kinematic viscosity of water to the standard temperature of 20°C. The objective of this study is to evaluate the error made to disregarding the actual temperature in the calculation of head loss in pipes. It was observed that the average water temperature in public distribution is 33.4°C and 31.4°C in a building cold water system. Using the viscosity at 20°C overestimates the head loss in value that can reach more than 8.0% according Darcy-Weisbach equation.

**Palavras-Chave** – Temperatura da Água; Perda de Carga; Teresina/PI

---

1) Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí, Rua Espírito Santo, 996, Acarape, Teresina/PI, CEP 64003-750. Tel: (086) 3213-2424. e-mail: carloshenriquelv@hotmail.com, rogeanioalmeida.eng@gmail.com, italo\_saraiva182@hotmail.com, rjarf.pi@gmail.com

## 1 - INTRODUÇÃO

O acesso ao fornecimento permanente de água em quantidade e qualidade adequadas é condição indispensável para o desenvolvimento de qualquer comunidade, sendo, inclusive, um dos mais convenientes indicadores de qualidade de vida da população.

Os sistemas de abastecimento de água, sejam eles públicos ou concessionárias privadas, permitem a captação do recurso hídrico em um manancial, garantindo o seu condicionamento aos rígidos padrões de potabilidade e a sua distribuição à população a partir de um conjunto de reservatórios de acumulação e de tubulações que conduzem a água a cada unidade consumidora interligada ao sistema.

Reconhecidamente, a cidade de Teresina apresenta temperaturas do ar elevadas que, conseqüentemente, afetam a temperatura da água, fator esse não considerado no dimensionamento de obras hidráulicas de condução existentes na capital piauiense. Tendo em vista o desconhecimento da temperatura da água na cidade, são utilizados os valores referenciais encontrados na literatura: massa específica da água a 4°C e viscosidade cinemática a 20°C. Portanto, não há avaliação se a utilização de tais valores referenciais das propriedades da água seria pertinente ou se tal uso conduz a erros inaceitáveis do ponto de vista hidráulico.

O objetivo do presente trabalho, portanto, é, a partir do monitoramento da temperatura da água em Teresina, identificar o impacto do uso dos valores referenciais, especialmente da viscosidade cinemática, na determinação da perda de carga por meio da comparação da resposta de dois sistemas hidráulicos de larga utilização, um sistema predial de água fria e uma rede de distribuição, quando se considera a temperatura real da água em Teresina e quando é empregado o valor padrão de viscosidade cinemática a 20°C.

## 2 – PERDA DE CARGA

O escoamento de um fluido sempre se dá com uma redução da energia mecânica ao longo do fluxo. Normalmente esta energia dissipada na forma de calor é expressa por unidade de peso, sendo assim denominada perda de carga. Segundo Martinez *et al.* (2009), a perda de carga em condutos forçados é função do grau de aspereza, da regularidade da sua superfície interna, da velocidade do escoamento, da viscosidade do fluido e do diâmetro da tubulação.

A perda de carga pode ser classificada em dois tipos: a perda de carga ao longo da canalização, chamada de perda de carga distribuída; e aquela provocada por perturbações locais no fluxo, como mudanças de velocidade e de direção, a perda de carga localizada.

Segundo Azevedo Netto *et al.* (1998), “poucos problemas mereceram tanta atenção ou foram tão investigados quanto o da determinação das perdas de carga nas canalizações”. O autor numera

40 equações propostas entre 1775 e 1903 para a avaliação da perda de carga distribuída, apontando que a grande dificuldade de tratamento analítico levou a um grande número de equações empíricas.

Porto (2006) demonstra, por meio da análise dimensional, a obtenção da chamada fórmula universal da perda de carga, proposta inicialmente por Darcy e Weisbach em trabalhos independentes por volta de 1845. A equação é assim chamada em virtude de sua aplicação ser permitida a qualquer situação, seja relacionada ao tamanho e material que compõe a tubulação, regime de escoamento e natureza e características do fluido, sendo reproduzida a seguir:

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

em que:  $\Delta H$  a perda de carga distribuída ao longo da canalização (m);  $L$  o comprimento da tubulação (m);  $V$  a velocidade de escoamento (m/s);  $g$  a aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);  $D$  o diâmetro (m);  $f$  o chamado fator de atrito.

Apesar da relativa simplicidade, a fórmula universal só pode ser efetivamente empregada a partir das experiências de Nikuradse no início da década de 1930, que permitiu entender adequadamente o comportamento do fator de atrito ( $f$ ) em tubulações e, posteriormente, a proposição de equações para a sua determinação. Em 1993, Swamee apresentou uma equação única para a determinação do fator de atrito (Porto, 2006), independente do regime de escoamento (laminar, turbulento liso, turbulento misto e turbulento rugoso) com a seguinte formulação:

$$f = \left\{ \left( \frac{64}{Re_y} \right)^8 + 9,5 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re_y^{0,90}} \right) - \left( \frac{2500}{Re_y} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (2)$$

sendo:  $\varepsilon$  a rugosidade absoluta do tubo (m);  $D$  o diâmetro (m); e  $Re_y$  o adimensional Número de Reynolds, calculado conforme a Equação 3:

$$Re_y = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (3)$$

na qual:  $V$  é velocidade do escoamento (m/s);  $D$  o diâmetro da tubulação (m); e  $\nu$  é a viscosidade cinemática do fluido (m<sup>2</sup>/s), que varia com a sua natureza e temperatura.

Dada a impossibilidade do uso da equação universal até meados do século passado, foi comum a difusão no meio técnico de equações empíricas para a determinação da perda de carga distribuída, algumas delas ainda muito empregadas, como a fórmula de Hazen-Williams para condutos de maior diâmetro empregados em redes de distribuição, linhas adutoras e sistemas de recalque, e a de Fair-Whipple-Hsiao para os tubos de pequeno diâmetro das instalações hidráulicas prediais. O uso de equações empíricas exige cuidado, já que sua validade está condicionada às condições ensaiadas que lhe deram origem (Vennard, 1963). A fórmula de Hazen-Williams, por

exemplo, somente é recomendada para (Porto, 2006): (a) escoamento turbulento de transição; (b) água a 20°C; (c) diâmetro maior que 4". Já Fair-Whipple-Hsiao propõem equações com coeficientes distintos dependendo do material dos tubos e se a água é quente ou fria, mas sem explicitar a temperatura.

Ao contrário das equações empíricas, a fórmula universal permite avaliar o impacto da temperatura do fluido na perda de carga distribuída a partir da consideração do valor da viscosidade cinemática, já que esta influi no número de Reynolds e, conseqüentemente, no fator de atrito.

### 3 - METODOLOGIA

Foram coletadas amostras de água às 06h00min, 12h00min, 18h00min e 22h00min, duas vezes por semana, durante o período de 22/07/2013 a 20/02/2014, sendo também aferida, com a mesma periodicidade, a temperatura ambiente (temperatura do ar local), período esse correspondente a uma parte de um período de vigência de uma pesquisa de iniciação científica de um tema semelhante. Tal intervalo, entretanto, abrange a época de maiores temperaturas do ar, que se estende de setembro a dezembro, o chamando "B-R-O-Bró".

As medições foram realizadas em amostras coletadas em dois locais: o primeiro em uma torneira abastecida diretamente pela rede pública de distribuição mantida pela AGESPISA, a concessionária local de saneamento, e o segundo em uma torneira abastecida pelo reservatório predial. Para o monitoramento, foi coletado um litro de água de cada ponto em um recipiente de plástico graduado, utilizando-se de um termômetro digital empregado em aquários, com precisão de  $\pm 1^\circ\text{C}$ , para aferir a temperatura da amostra.

Os valores registrados foram armazenados em uma planilha eletrônica, calculando-se as temperaturas máxima, média e mínima observadas durante o período correspondente.

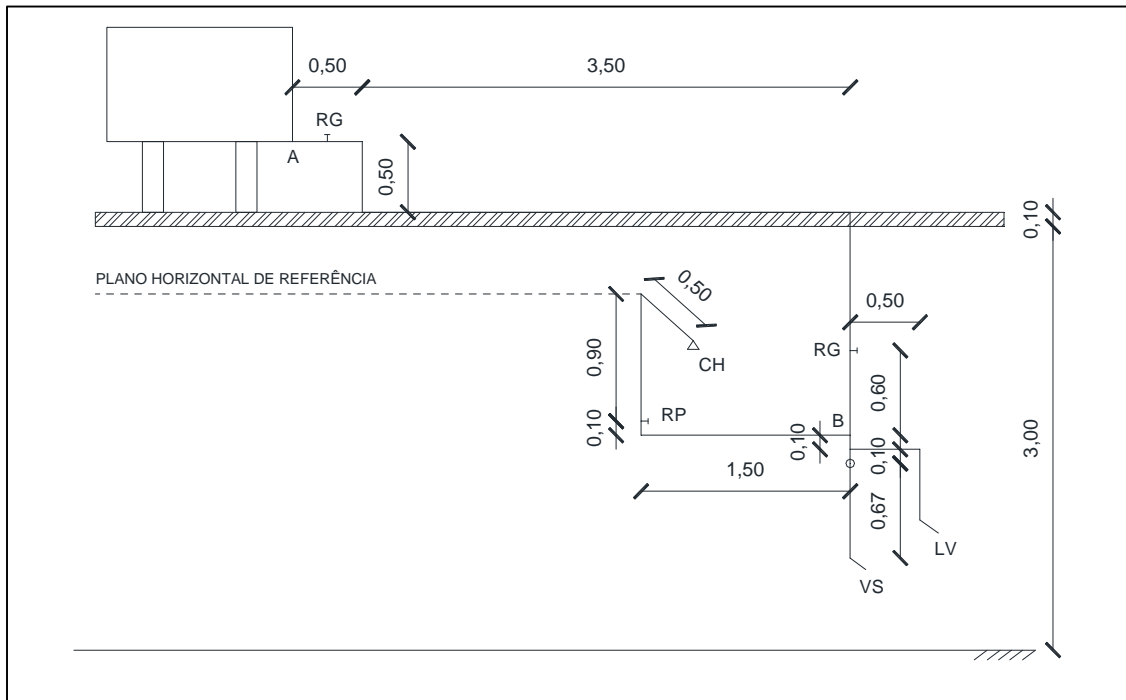
Para o cálculo da perda de carga ( $\Delta H$ ) nos condutos forçados foi utilizada a equação Darcy-Weisbach (Equação 1), com a determinação do fator de atrito segundo a formulação de Swamee (Equação 2). Os valores de viscosidade cinemática referentes às temperaturas locais foram obtidos nas tabelas do *International Towing Tank Conference – ITTC* (2011), com valores disponíveis para as temperaturas de 0,1 a 50°C.

Os sistemas simulados para avaliar o impacto da temperatura na perda de carga são apresentados a seguir.

### 3.1 - Instalação Predial de Água Fria

A Figura 1, com medidas em metros e sem escala definida, mostra um corte de uma instalação predial hipotética de um banheiro residencial, na qual se propõe verificar a perda de carga total (perdas localizada e distribuída) de dois trechos de tubulação.

Figura 1 – Corte de instalação predial de água fria de banheiro residencial



### 3.2 - Rede ramificada de distribuição de água:

A Figura 2, com medidas em metros e sem escala definida, mostra a rede ramificada de distribuição de água hipotética utilizada. No trecho RA não há distribuição e a tubulação é de ferro fundido velho com 150 mm; as demais tubulações são de PVC, com os seguintes diâmetros: AB - 150 mm; BC - 50 mm; BD - 150 mm; DE - 50 mm; DF - 50 mm; DG - 100 mm; GH - 50 mm; GI - 60 mm.

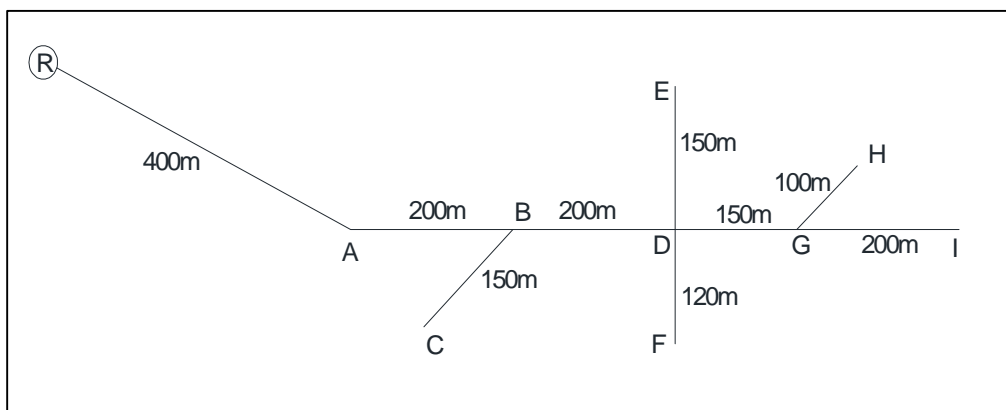


Figura 2 – Rede ramificada de distribuição de água

## 4 – RESULTADOS

### 4.1 – Temperatura

A Figura 3 apresenta as temperaturas observadas durante o período monitorado, de acordo com o horário da coleta, tanto da água quanto do ar, enquanto a Tabela 1 resume os valores obtidos. Como era de se presumir, a água armazenada no reservatório predial apresentou valores menores que a água externa, em média 2°C a menos.

O valor médio de temperatura da água obtida diretamente da rede pública foi de 33,4°C, com máxima no período de 35,3°C e mínima de 31,2°C. Já para a instalação predial, a temperatura média foi de 31,4°C, com máxima de 33,3°C e mínima de 28,3°C.

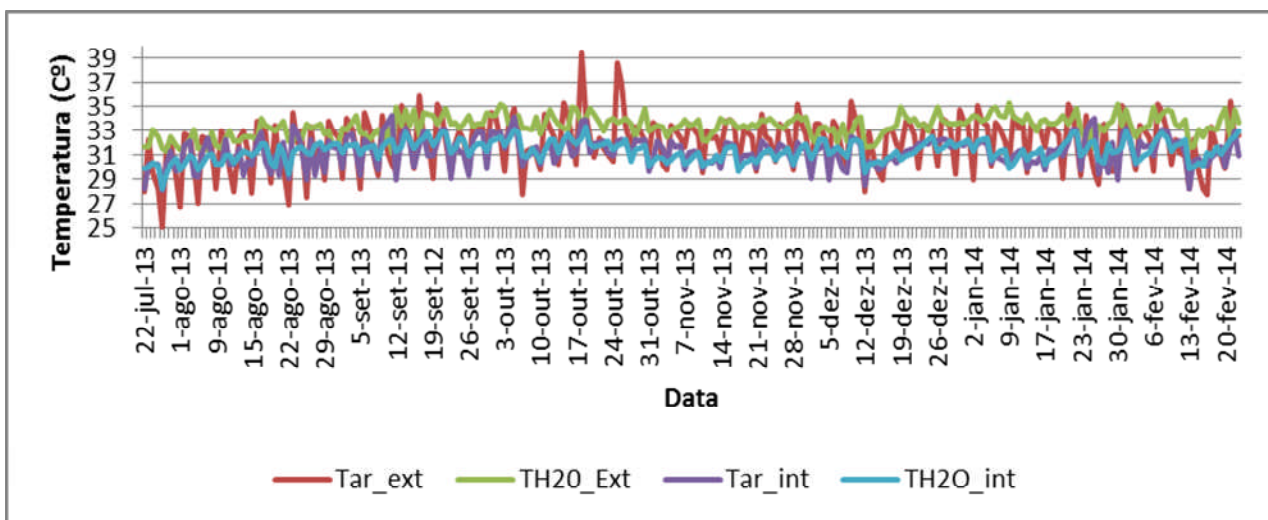


Figura 3 – Monitoramento da temperatura do ar e da água na parte externa e interna da residência

Tabela 1 – Temperaturas ambiente e da água

Temperatura da água (°C)			Temperatura ambiente (°C)		
Rede de distribuição	Máxima	35,3	Externa	Máxima	39,4
	Média	33,4		Média	32,1
	Mínima	31,2		Mínima	25,1
Reservatório interno	Máxima	33,3	Interna	Máxima	34,2
	Média	31,4		Média	31,3
	Mínima	28,3		Mínima	28,1

## 4.2 – Perda de Carga

### 4.2.1 – Instalação Predial

Para a instalação predial da Figura 1 foi adotado vaso sanitário com válvula de descarga, de modo que as vazões foram determinadas por meio do método da vazão máxima provável, indicada pela NBR-5626/98 - Instalação Predial de Água Fria, chegando-se aos valores de 1,92 L/s para o trecho AB, cujo diâmetro é de 50 mm, e 0,20 L/s para o sub-ramal do chuveiro (trecho B-CH), com diâmetro de 20 mm.

As perdas localizadas foram calculadas pelo método geral, sendo os valores do coeficiente k obtidos em Porto (2006): entrada normal = 0,5; registro de gaveta = 0,2; curva de 90° = 0,4; tê de saída lateral = 2; joelho de 90° = 0,9; registro globo = 10; saída de canalização = 1,0.

A Tabela 2 resume o cálculo da perda de carga considerando quatro situações distintas relacionadas ao valor da viscosidade cinemática: valor padrão a 20°C (1,0034E-06 m<sup>2</sup>/s); valor referente à temperatura mínima observada de 28,3°C (8,3014E-07 m<sup>2</sup>/s); valor para a temperatura média de 31,4°C (7,7774E-07 m<sup>2</sup>/s); e valor para a máxima registrada de 33,3°C (7,4827E-7 m<sup>2</sup>/s). Os erros relativos indicados são os referentes ao valor padrão de 20°C. O valor da rugosidade absoluta dos tubos de PVC ( $\epsilon$ ) foi admitido igual a 0,006 mm.

Tabela 2 – Cálculo da perda de carga e erro relativo para a instalação predial

Trecho	Temperatura (°C)	Viscosidade cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Número de Reynolds	Fator de atrito	Perda de carga distribuída (m)	Perda de carga localizada (m)	Perda de carga total (m)	Erro relativo (%)
A-B	20,0	1,0034E-06	48.726,73	0,0214	0,134	0,200	0,334	-
	28,3	8,3014E-07	58.896,57	0,0205	0,128	0,200	0,329	-1,5
	31,4	7,7774E-07	62.864,71	0,0203	0,127	0,200	0,327	-2,0
	33,3	7,4827E-07	65.340,58	0,0201	0,126	0,200	0,326	-2,3
B-CH	20,0	1,0034E-06	12.689,25	0,0296	0,185	0,265	0,451	-
	28,3	8,3014E-07	15.337,65	0,0283	0,177	0,265	0,442	-2,5
	31,4	7,7774E-07	16.371,02	0,0278	0,174	0,265	0,439	-3,4
	33,3	7,4827E-07	17.015,78	0,0276	0,172	0,265	0,438	-3,8

Como pode ser observado, o uso, por padrão, da viscosidade cinemática da água a 20°C em Teresina/PI superestima a perda de carga distribuída, sendo tal majoração tanto maior quanto maior for a temperatura da água. Considerando a temperatura média da água obtida no monitoramento, 31,4°C, tal superestimação chega a 2,0% para o trecho AB e 3,4% para o sub-ramal do chuveiro.

#### 4.2.2 – Rede de Distribuição

A Tabela 3 representa os resultados obtidos para a perda de carga na rede de tubulações, considerando a ocorrência de distribuição em marcha, ou seja, com consumo de água constante ao longo do comprimento das canalizações. A perda de carga foi calculada a partir do conceito de vazão fictícia, como recomendado por Azevedo Netto *et al.* (1998). Neste caso, foram consideradas as temperaturas medidas para a rede pública para a determinação da viscosidade cinemática: média de 33,4°C (7,4677E-07 m<sup>2</sup>/s); mínima de 31,2°C (7,8095E-07 m<sup>2</sup>/s); e máxima de 35,3°C (7,1920E-07 m<sup>2</sup>/s). A rugosidade absoluta do tubo de ferro fundido usado foi admitida igual a 4,0 mm e do PVC 0,006 mm. Conforme o item anterior, o erro relativo foi calculado em relação ao valor padrão da viscosidade cinemática para 20°C.

Tabela 3 – Cálculo da perda de carga e erro relativo para a rede de distribuição

Trecho	Vazões (L/s)			Perda de carga (m)				Erro relativo (%)		
	Montante	Jusante	Fictícia	20°C	31,2°C	33,4°C	35,3°C	31,2°C	33,4°C	35,3°C
RA	9,06	9,06	9,06	1,978	1,973	1,972	1,971	-0,3	-0,3	-0,3
AB	9,06	7,64	8,35	0,296	0,281	0,278	0,276	-5,0	-5,9	-6,6
BC	1,07	0,00	0,62	0,421	0,396	0,392	0,388	-6,0	-7,0	-7,8
BD	6,56	5,14	5,85	0,157	0,148	0,147	0,146	-5,3	-6,2	-6,9
DE	1,07	0,00	0,62	0,421	0,396	0,392	0,388	-6,0	-7,0	-7,8
DF	0,86	0,00	0,49	0,228	0,214	0,212	0,210	-6,2	-7,3	-8,1
DG	3,21	2,14	2,68	0,204	0,193	0,191	0,189	-5,5	-6,4	-7,2
GH	0,71	0,00	0,41	0,139	0,130	0,128	0,127	-6,4	-7,4	-8,3
GI	1,43	0,00	0,82	0,390	0,367	0,363	0,360	-5,9	-6,9	-7,8

Como esperado, o erro é desprezível para a tubulação de ferro fundido, tendo em vista que o fator de atrito não é afetado pelo número de Reynolds em escoamento turbulento rugoso (Porto, 2006). O valor de 0,3% se deve à aproximação da equação de Swamme. Para as tubulações de PVC, onde o escoamento é hidraulicamente liso ou misto, o impacto da temperatura é mais acentuado. Como mostrado na Tabela 3, o uso do valor padrão a 20°C superestima a perda de carga, podendo o erro chegar a superar 8,0% em módulo para a temperatura máxima. Para a temperatura média aferida de 33,4°C, o erro relativo médio foi de -6,8% para as tubulações de PVC.

## 5 - CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou o monitoramento da temperatura da água em Teresina/PI durante o período de 22/07/2013 a 20/02/2014. Foi constatado que a temperatura da água oriunda da



rede de distribuição variou entre 31,2°C e 35,3°C no período, com valor médio de 33,4°C. Para a água o sistema predial de água fria residencial apontou-se uma temperatura média 2°C mais baixa, 31,4°C, com variação entre a mínima de 28,3°C e 33,3°C.

Notou-se, também, que considerar como padrão o valor da viscosidade cinemática da água o relativo à temperatura de 20°C resulta em uma superestimação da perda de carga, tanto maior quanto mais elevada seja a temperatura local.

Na simulação de um sistema predial de água fria com tubos de PVC, a superestimação variou entre 1,5 e 3,8%. Para a rede de distribuição, os erros foram maiores, no intervalo entre 5,0 e 8,3% e, conforme pressuposto, tais erros restringem-se aos escoamentos turbulentos do tipo hidraulicamente liso e misto.

Apesar dos erros, verifica-se que os mesmos se encontram dentro de valores considerados aceitáveis para as obras hidráulicas, sujeitas a diversas incertezas como a demanda real e o valor correto da rugosidade das tubulações, por exemplo.

Portanto, a utilização como padrão do valor da viscosidade cinemática da água em Teresina/PI é julgada aceitável, acarretando em uma “margem de segurança” para as pressões mínimas, que na realidade serão maiores que as teóricas calculadas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Universidade Estadual do Piauí pela aprovação desta pesquisa no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC e pela bolsa concedida.

## **BIBLIOGRAFIA**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5626 (1998) - Instalação Predial de Água Fria*. Rio de Janeiro-RJ, 41 p.

AZEVEDO NETTO, J. M. *et al.*(1998). *Manual de Hidráulica*. EDGARD BLUCHER São Paulo-SP, 669 p.

ITTC (2011). International Towing Tank Conference. *Fresh Water and Seawater Properties*.

MARTINEZ, C.B.; LOPES, K.G.O.; COELHO, M.M.L.P. (2009). “*Impacto da evolução da perda de carga na geração de PCHs*” in Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, Nov. 2009.

PORTO, R.M. (2006). *Hidráulica Básica*. EESC/USP São Carlos-SP, 540 p.

VENNARD, J.K. (1963). *Elementary fluid mechanics*. 4th ediction. JOHN WILEY & SONS New York.