

CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE TUBOS DE POLIETILENO PARA IRRIGAÇÃO PERFURADOS A LASER

VERÔNICA GASPAR MARTINS LEITE DE MELO¹; ALEX NUNES DE ALMEIDA²; ANTÔNIO PIRES DE CAMARGO³ E JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE⁴

¹ *Graduanda em Engenharia Agrônoma, aluna de iniciação científica, Departamento de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, Avenida Pádua Dias, 11, Piracicaba, SP Cep 13418-900, e-mail: veronica.martins@usp.br*

² *Doutorando em engenharia de sistemas agrícolas, Departamento de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, e-mail: alexn@usp*

³ *Especialista em laboratório, Departamento de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, e-mail: apc.pires@gmail.com*

⁴ *Prof. Titular, Departamento de Sistemas Agrícolas, e-mail: frizzone@usp.com.*

1 RESUMO

O uso de tubos de polietileno com orifícios de descarga perfurados a laser é comum na irrigação, especialmente em cenários nos quais se busca baixo custo. Esse material apresenta linhas laterais de baixo custo, com orifícios aptos a operar sob baixa pressão (até 100 kPa). Assim como qualquer outro material de irrigação, é essencial que haja uma caracterização operacional dos tubos perfurados a laser para que se obtenha informações requeridas no projeto e operação desses sistemas de irrigação. Esse trabalho teve o objetivo de determinar características hidráulicas dos tubos flexíveis perfurados a laser Santeno I e II®. Realizou-se ensaios para a determinação da relação vazão-pressão e do coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação (CVF_q). Os emissores do modelo Santeno I apresentaram CVF_q variando entre 10,4 e 12,72% para as pressões de ensaio entre 1 e 10 mca. O CVF_q do modelo Santeno II variou entre 19,1 a 25,33% para a mesma faixa de pressões de ensaio. O expoente da equação vazão-pressão indicou regime de escoamento turbulento para ambos os modelos.

Palavras-chave: vazão, Santeno, coeficiente de variação

**MELO, V. G. M. L. de; ALMEIDA, A. N. de; CAMARGO, A. P. de; FRIZZONE, J. A.
HYDRAULIC CHARACTERIZATION OF POLYETHYLENE LASER
PERFORATED TAPES FOR IRRIGATION**

2 ABSTRACT

The use of polyethylene tapes with laser perforated discharge holes is common in irrigation, especially, in low-cost applications. This type of material presents low cost side lines with holes that are able to operate under low pressure (up to 100 kPa). Just like any other irrigation equipment, it is fundamental to characterize the operational features of the polyethylene laser perforated tapes. Such information is required to create the design and define how these irrigation systems will operate. The purpose of this work is to determine the hydraulic characteristics of the polyethylene laser perforated tapes named as Santeno I e II®. The pressure-discharge ratio and the coefficient of flow rate variation due to manufacturing effects (CVF_q) were evaluated. The Santeno I emitters presented a CVF_q ranging from 10.4 to 12.72%

for pressure heads varying from 1 to 10 mca. The CVFq of Santeno II emitters varied from 19.1 to 25.33 within the same pressure head range. The exponent of the discharge-pressure equations indicated that both models of emitters operate within the turbulent flow regime.

Keywords: discharge, Santeno, coefficient of variation

3 INTRODUÇÃO

Tubos de polietileno com orifícios perfurados a laser são tubo-emissores com potencial para uso em aplicações nas quais se busca baixo custo de instalação e baixa pressão para operação do sistema (ANDRADE, 1990). A empresa brasileira Santeno produz tubos de polietileno com orifícios perfurados a laser, cujos orifícios possuem 0.3 mm de diâmetro espaçados de forma equidistante, sendo que a água é distribuída na forma de micro jatos que irrigam uma área aproximadamente retangular em torno do tubo-emissor (SANTENO, 2017). A pressão necessária para operação desses emissores varia entre 20 e 100 kPa. Visto que não há protrusões de emissores na seção interna do tubo, esses tubo-emissores não apresentam perdas localizadas de carga.

Apesar do custo de tubos de polietileno perfurados a laser ser atrativo, é imprescindível que esse material seja avaliado tecnicamente a fim de que seja validada a aptidão dos mesmos para uso em sistemas de irrigação (PINTO et al., 2014). A relação vazão-pressão, a perda de carga ao longo da linha lateral, o coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação e a uniformidade de distribuição constituem as características hidráulicas que influenciam diretamente no desempenho do sistema de irrigação (FRIZZONE, 1998). A caracterização hidráulica é um fator primordial, pois o dimensionamento de um projeto de irrigação só é possível caso sejam conhecidas as informações técnicas do emissor, principalmente a relação vazão-pressão (PINTO et al., 2014). Em função do tipo de material utilizado na fabricação do tubo, do diâmetro do tubo, da espessura da parede e da geometria do emissor, torna-se relevante o estudo das características hidráulicas do tubo, visando fornecer elementos para o dimensionamento do projeto assim como para a operação do sistema de irrigação (FRIZZONE, 1998).

Solomon (1979) destaca a importância em se considerar a variação de vazão dos emissores em função das imperfeições no processo de fabricação. Variações na geometria dos orifícios de saída da água provocam diferenças na vazão, possuindo em alguns casos, maior importância que as variações de vazão decorrentes das diferenças de pressão ao longo da linha lateral (BOTREL, 1984). Assim como em qualquer outro material de irrigação, é essencial a caracterização operacional dos tubos perfurados a laser para que se obtenham informações requeridas nos projetos de irrigação, possibilitando o suporte técnico e científico adequado ao uso desses materiais nos sistemas de irrigação de forma a reduzir custos fixos e operacionais. O desempenho desses sistemas depende muito de um projeto hidráulico em que o objetivo seja minimizar a variação de vazão dos emissores ao longo da linha lateral e possibilitar o aumento da uniformidade de aplicação de água (CLARK et al., 2006).

Esse trabalho teve o objetivo de determinar as características hidráulicas do tubo perfurado a laser flexível de polietileno Santeno I e II® fabricado no Brasil, estabelecendo a relação vazão-pressão e o coeficiente de variação de fabricação dos orifícios.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do material avaliado

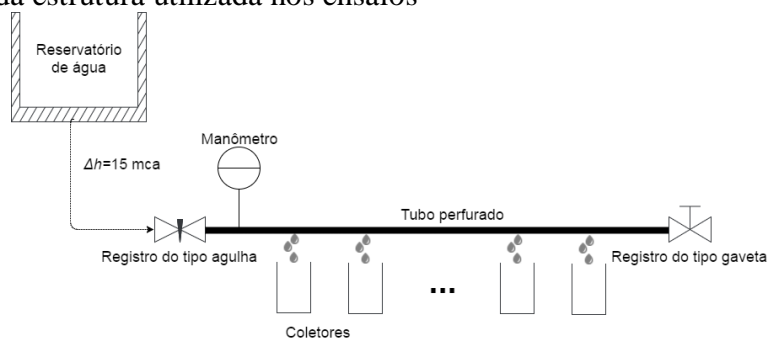
O material usado no experimento foi fabricado pela empresa Santeno Irrigações do Nordeste Ltda. Utilizou-se tubo de polietileno linear flexível de baixa densidade, caracterizado por orifícios perfurados a laser. A água é aplicada na forma de micro jatos e os tubos permitem operação com pressão de até 100 kPa (10 mca). Segundo o fabricante, a mangueira Santeno I produz micro jatos de água direcionados para cima, irrigando área total em até 2,5 m², possuindo as seguintes características técnicas: pressão de serviço de 20 a 100 kPa; distância entre par de emissores 0,15 m; diâmetro dos emissores 0,3 mm; diâmetro da mangueira 28 mm; espessura de parede 200 µm; altura dos micro jatos 1,80 m; disponíveis em bobinas de 50 e 100 m. O modelo Santeno II produz micro jatos de água direcionados lateralmente, a 45° do solo, irrigando a área em até 2 m², possuindo as mesmas características técnicas do modelo I. Ambos os modelos operam com vazão variando de 7,8 a 28,8 Lh⁻¹m⁻¹ de tubulação. As linhas laterais podem ter até 100 m de comprimento para uma variação de vazão permitida de 20% entre o primeiro e o último emissor.

4.2 Condições de ensaio

Este trabalho foi conduzido nos Laboratórios de Hidráulica e de Irrigação do Departamento de Engenharia de Sistemas Agrícolas na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Foram realizados ensaios para obtenção da equação vazão-pressão e do coeficiente de variação de fabricação (CVF_q) dos tubos perfurados Santeno I e II®.

A estrutura de ensaios (Figura 1) dispõe de um reservatório de aproximadamente 30 m³ capaz de manter uma carga hidráulica constante de 15 mca para a realização dos ensaios. A água fornecida pelo reservatório foi conduzida até o início da linha de tubo perfurado submetida ao ensaio. No início da linha foi instalado um registro do tipo agulha para ajuste da pressão de ensaio e um manômetro digital para monitoramento da mesma. No final da linha foi instalado um registro de gaveta, utilizado somente para remoção de ar da tubulação no início dos ensaios. Após a remoção de ar, esse registro permaneceu fechado para minimizar a perda de carga ao longo do trecho avaliado e assegurar que a pressão de operação de todos os emissores fosse praticamente a mesma. A temperatura da água foi monitorada durante os ensaios utilizando termômetro de vidro.

Figura 1. Esquema da estrutura utilizada nos ensaios



Dado que os tubos perfurados apresentam orifícios agrupados em pares e espaçados a cada 0,15 m, mediu-se sempre a vazão de um par de orifícios e todos os resultados apresentados

referem-se a um par de orifícios. Portanto, sob determinados pares de orifícios foram posicionados coletores com capacidade para armazenar 4 L, sendo que as determinações de vazão foram obtidas por medições de massa em intervalo de tempo de 1 hora, tempo este suficiente para coletar volumes acima de 2 L de água. O tempo de coleta foi medido utilizando cronômetro digital. As massas foram determinadas utilizando balança digital com resolução de 0,1 g. A temperatura da água foi utilizada para corrigir a massa específica da água, sendo utilizada a Eq. (1) (TANAKA, 2001).

$$\rho(T) = a_5 \left[1 - \frac{(T + a_1)^2 (T + a_2)}{a_3 (T + a_4)} \right] \quad (1)$$

Em que: $\rho(T)$ é a massa específica da água para temperaturas entre 0 e 40 °C, à pressão atmosférica de 101,325 kPa (kg m^{-3}); T é a temperatura da água (°C); $a_1 = -3,983035$ °C; $a_2 = 301,797$ °C; $a_3 = 522528,9$ °C; $a_4 = 69,34881$ °C; $a_5 = 999,974950$ kg m^{-3} .

4.3 Metodologia para determinação da relação vazão-pressão

A amostra utilizada neste ensaio foi constituída de um segmento de tubo com 3 m de comprimento útil, obtida de uma bobina de 50 m, a partir do qual determinou-se a vazão de 20 emissores (20 pares de orifícios). As pressões de ensaio variaram de 10 a 100 kPa (1 a 10 mca) em incrementos de 10 kPa (1 mca). Os tubos foram instalados sobre superfície plana.

Para a determinação da vazão, o segmento de tubo perfurado foi conectado a linha de fornecimento de água, a pressão de ensaio foi regulada e então coletou-se a vazão de cada par de emissor conforme metodologia já descrita.

A curva característica de vazão-pressão foi estimada ajustando-se um modelo potencial aos dados obtidos experimentalmente.

A equação resultante permite a estimativa da vazão de um par de orifícios (q , Lh^{-1}) em função da carga de pressão (H , mca) Eq. (2).

$$q = K H^x \quad (2)$$

Em que: q representa a vazão de um par de orifícios (Lh^{-1}); K é o coeficiente de proporcionalidade característico do emissor; H é carga de pressão (mca); x expoente de fluxo.

4.4 Metodologia para determinação do coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação (CVF_q)

A metodologia utilizada para determinação do CVF_q foi a mesma utilizada para determinação da relação vazão-pressão. A única particularidade diz respeito ao uso do coeficiente de variação como indicador da uniformidade de vazão dos emissores. O CVF_q foi calculado utilizando a Eq. (3).

$$\text{CVF}_q = 100 \frac{S_q}{\bar{q}} \quad (3)$$

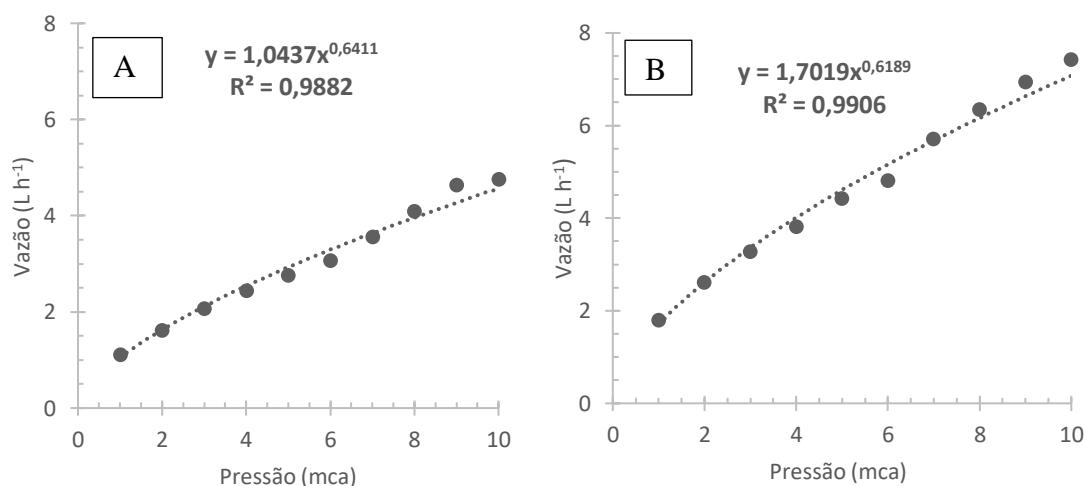
Em que: CVF_q é o coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação (%); S_q é o desvio padrão das leituras de vazão na pressão de referência (Lh^{-1}); e, \bar{q} é a média das vazões dos emissores na pressão de referência (Lh^{-1}).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Equação característica de vazão dos emissores

A partir da análise de regressão dos dados de vazão versus pressão, obteve-se as equações características de vazão dos emissores para os modelos Santeno I e II representadas graficamente na Figura 2, onde q é a vazão do emissor em $L h^{-1}$ para o conjunto de 2 orifícios e H é a carga de pressão na entrada do emissor, em mca. O coeficiente de determinação (r^2) da equação para o modelo Santeno I foi de 0,988 e para o modelo Santeno II foi de 0,998, indicando um bom ajuste do modelo potencial para descrever a relação vazão-pressão. Dentro da faixa de pressão em que as equações são válidas em ambos os modelos estudados, os orifícios operam em regime de escoamento turbulento e seu expoente ficou próximo a 0,5, conforme esperado para emissores que operam em regime de escoamento turbulento (FRIZZONE et al., 2012).

Figura 2. Curvas vazão-pressão: (A) Santeno I; (B) Santeno II



Andrade (1990) trabalhando com unidade de pressão em mca, Bonomo et al. (1998) na unidade em kPa e Marinho et al. (1999) também em kPa, encontraram valores de K iguais a 1,6085; 0,4748 e 0,4300 e de x , 0,5491; 0,5000 e 0,5600, respectivamente, para tubos perfurados de polietileno perfurados a laser, indicando regime de escoamento turbulento. Esses valores se aproximam dos obtidos neste trabalho e para o tubo gotejador Rain Bird, Frizzone et al. (1998), obtiveram valor de x igual a 0,4563 caracterizando o tubo-emissor como de escoamento turbulento.

5.2 Coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação (CVF_q)

Os coeficientes de variação variaram de 10,40 a 12,72% para as pressões de 1 a 10 mca para o modelo Santeno I (Figura 3). Utilizando a classificação da ASABE (2008), pela norma EP405.1, os emissores do tubo perfurado são classificados como médio em termos de

uniformidade de fabricação. Para o modelo Santeno II, os coeficientes de variação variaram de 19,10 a 25,33% para as cargas de pressão de 1 a 10 mca (Figura 4). Utilizando a mesma referência normativa, esses emissores são classificados como marginal a inaceitável em termos de uniformidade de fabricação.

Figura 3. Representação gráfica do coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação (CVF_q) em cada pressão ensaiada no tubo perfurado Santeno I

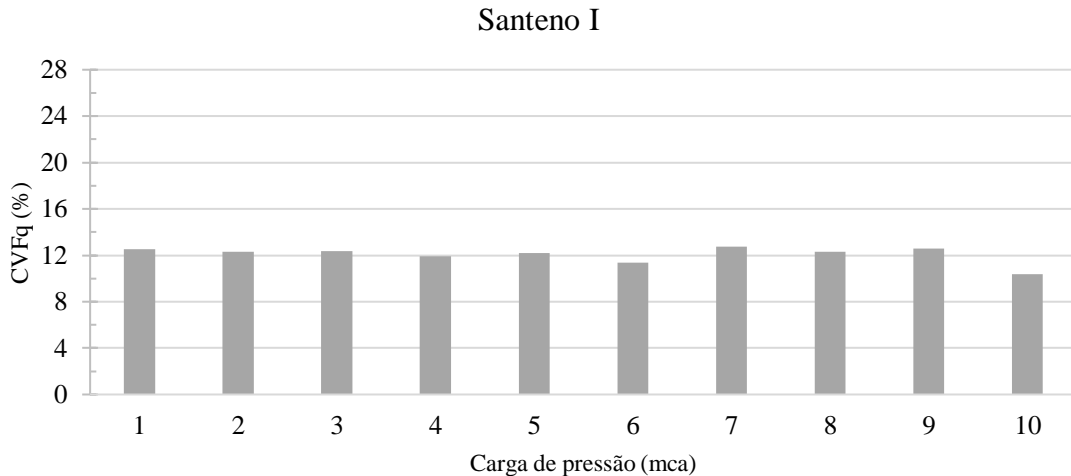
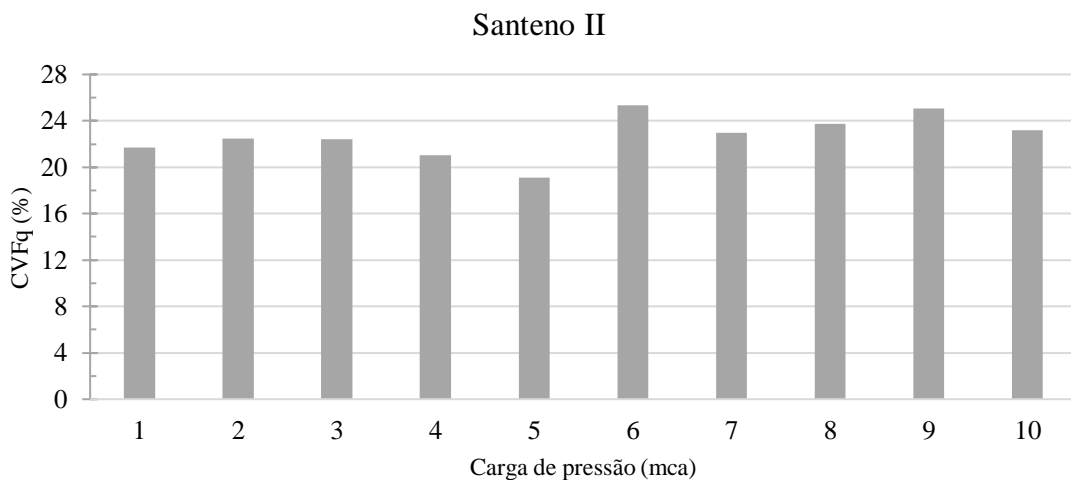


Figura 4. Representação gráfica do coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação (CVF_q) em cada pressão ensaiada no tubo perfurado Santeno II



Andrade (1990), Bonomo et al. (1998) e Marinho et al. (1999) estudando as características hidráulicas de um tubo de polietileno perfurado a laser, observaram coeficientes médios de variação de 1,95, 3,31 e 4,10% respectivamente, classificando os emissores como excelentes. Esses valores divergem dos obtidos neste trabalho, as possíveis causas podem ser atribuídas a alterações no processo produtivo do material e aspectos relacionados à manutenção, calibração e avaliação das máquinas e equipamentos utilizados na fabricação dos tubos.

6 CONCLUSÕES

Os emissores do modelo Santeno I apresentaram CVFq variando entre 10,40 e 12,72% para as cargas de pressão entre 1 e 10 mca. Esses emissores são enquadrados como médio em termos de uniformidade de fabricação conforme a classificação da ASABE (2008), pela norma EP405.1. O expoente da equação vazão pressão foi de 0,6411 indicando regime de escoamento turbulento.

Os emissores do modelo Santeno II apresentaram CVFq variando entre 19,10 a 25,33% para as cargas de pressão entre 1 e 10 mca, utilizando a mesma referência normativa, esses emissores são classificados como marginal a inaceitável em termos de uniformidade de fabricação. O expoente da equação vazão pressão foi de 0,6189 indicando regime de escoamento turbulento.

Os elevados resultados de coeficiente de variação são indicativos prováveis de oportunidades de melhoria no processo produtivo dos tubos perfurados a laser. É provável que a manutenção insuficiente, falta de calibração e avaliação periódica das máquinas e equipamentos utilizados na fabricação dos tubos tenha contribuído para tais resultados.

7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. V. **Avaliação hidráulica de tubos flexíveis de polietileno perfurados a laser, utilizados na irrigação**. 1990. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

American Society of Agricultural and Biological Engineers - ASABE EP 405 (2008) Design and installation of microirrigation systems. **ASAE Standards**, St. Joseph. p.900-905.

BOTREL, T. A. **Hidráulica de microaspersores e linhas laterais para irrigação localizada**. 1984. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

BONOMO, R.; GOMES FILHO, R.R.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Caracterização hidráulica de tubos perfurados flexíveis de polietileno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.3, p.60-69, 1998.

CLARK, G. A.; HAMAN, D. Z.; PROCHASKA, J. F.; YITAYEW, M. General system design principles. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. **Microirrigation for crop production: Design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 2006, p. 161-220.

FRIZZONE, J. A.; VIEIRA, A. T.; PAZ, V. P. S.; BOTREL, T. A. Hydraulic characterization of drip tape. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 278-283, 1998.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: Gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012. 356p.

MARINHO, A. B.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Evaluation of hydraulic characteristics of the Santape perforated tube. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 316-321, 1999.

PINTO, M. F.; CAMARGO, A. P.; RETTORE NETO, O.; FRIZZONE, J. A. Caracterização hidráulica de tubos porosos oriundos de pneus reciclados utilizados em irrigação subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1095-1101, 2014.

SANTENO. Disponível em:< www.santeno.com.br >. Acesso em: 11 set. 2017.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n. 5, p.1038-8. 1979.

TANAKA, M.; GIRARD, G.; DAVIS, R.; PEUTO, A.; BIGNELL, N. Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports. **Metrologia**, v. 38, p. 301-309, 2001.