

Análise do efeito do golpe de aríete numa adutora com uma junção de ramificação

Water hammer effect analysis in a water pipeline with a branching junction


• **Data de entrada:**
16/03/2018

• **Data de aprovação:**
15/03/2019


Vicente de Castro Sanders Neto^{1*} | João Marcelo Costa Barbosa¹ |
Marco Aurelio Holanda de Castro¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.058>

ORCID ID

Sanders Neto VC  <https://orcid.org/0000-0002-1106-0880>

Barbosa JMC  <https://orcid.org/0000-0003-0559-0516>

Castro MAH  <https://orcid.org/0000-0001-5134-7213>

Resumo

Este trabalho tem como objetivo calcular os efeitos do golpe de aríete na ramificação de uma adutora hipotética para verificar a necessidade de realizar estudos preliminares antes de adaptações ou improvisos em adutoras já executadas. O transiente hidráulico do sistema proposto foi modelado usando o método das características, por meio das equações do momento e continuidade dos fluidos, adotando as condições de contorno de uma junção de ramificação. A variação de carga de pressão na ramificação foi obtida por meio da modelagem computacional com auxílio de planilhas, podendo-se concluir pela análise dos dados que, no fechamento lento do registro na seção ramificada, há uma variação de carga 54,86% acima da carga de pressão no regime permanente na válvula do trecho 3 acima da carga piezométrica do reservatório, sendo assim indispensável o estudo de transientes de adaptações em adutoras.

Palavras-chave: Método das Características. Golpe de Aríete. Prevenção de Danos.

Abstract

This work aims to calculate the water-hammer effects in a branch of a hypothetical water main to verify the need to perform such preliminary studies before such adaptations on existing water main. The hydraulic transient of the proposed system was modelled using the characteristics method, through the fluids' equations of momentum and continuity, adopting a boundary condition of a branching junction. The pressure variation in the branching was obtained through the computational modeling with the aid of spreadsheets. It may be concluded that in the slow closure of the branched section valve there is a head variation 54,86% above upstream steady state (at the reach 3 valve), even higher than the piezometric head of the reservoir. So, it is indispensable the study of transients when there are adaptations on water pipelines.

Keywords: Method of characteristics. Water hammer. Damages prevention.

¹ Universidade Federal do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

* **Autor correspondente:** vicentecsneto@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Os estudos em hidráulica transiente e os efeitos do golpe de aríete foram desenvolvidos para resolver problemas de distribuição de água e prevenção de danos. Para a realização dos cálculos iniciais, Azevedo Netto e Fernández (2018) recomendam a determinação da Linha Piezométrica do Sistema por meio da equação do Teorema de Bernoulli, que representa a Carga Piezométrica (Pressão e Potencial) e a Carga Cinética, todos na dimensão de comprimento [L].

O golpe de aríete na tubulação de uma adutora resulta de uma mudança abrupta da vazão e da pressão, que podem ser causados por um fechamento rápido de registro de linha ou por uma parada ou falha de funcionamento de uma bomba sem o devido controle (BOULOS et al., 2015; BARBOSA ET AL, 2018; BARBOSA, 2015). Isso pode ocasionar uma oscilação com pressões positivas e negativas. Nisso, uma adutora pode ser projetada com diâmetros e espessuras de parede de tubulação para suportar esse tipo de oscilação de pressão (TRIKI, 2018).

Se as pressões máximas dessa oscilação forem excessivamente maiores do que as pressões nas quais a tubulação da adutora fora projetada a suportar, podem ocasionar falhas de contenção e vazamentos nas conexões da tubulação. Por outro lado, em pressões negativas excessivas podem causar implosões/esmagamentos das paredes da tubulação. Essas pressões baixas podem ser contempladas normalmente em um fechamento de válvula à jusante da tubulação (ZHU ET AL., 2018).

Normalmente, as adutoras são projetadas e executadas sem qualquer ramificação, salvo as exceções em que, dependendo da complexidade do sistema, podem ser projetadas com junções de um ou mais ramos para atender a determinadas demandas. O desenvolvimento teórico dos transientes hidráulicos com junções, ramificações e redes malhadas foram desenvolvidos e estão disponíveis na literatura (CHAUDHRY, 2014; WYLIE & STREETER, 1993).

Entretanto, o fator político que incide sobre a tomada de decisão acerca da alocação de água e o crescimento das cidades acabam por tornar necessário adaptações (ramificações fora do projeto original) para atender a uma certa demanda no percurso do sistema, o que é algo comum de acontecer. Além disso, furtos de água bruta ou tratada ocorrem de maneira descontrolada em algumas cidades interioranas do semiárido nordestino. Um exemplo: em março de 1999, na cidade de Santana do Ipanema/AL, onde, na época, o furto e o desvio deixaram sem água os 140 mil moradores de 18 municípios e 34 povoados por conta de mais de 400 furos clandestinos nos 200 quilômetros de adutora, que reduziram a pressão, impossibilitando o abastecimento nos centros urbanos (FOLHA DE SÃO PAULO, 1999). Assim como em Alagoas, ocorreram problemas similares em Ibaretama/CE (DIÁRIO DE QUIXADÁ, 2017), São Raimundo Nonato/PI (TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO PIAUÍ, 2013) e Caruaru/PE (JORNAL DO COMMERCIO, 2017).

Com a redução de pressão a jusante, o que se faz operacionalmente é aumentar a capacidade de bombeamento para que haja carga o suficiente para a água chegar ao destino. Isso acarreta maiores riscos em relação a um eventual efeito do golpe de aríete em numa interrupção do fluxo (causado pela parada da bomba ou por um fechamento de registro). Consequências podem ser dispendiosas ou mesmo fatais, pelo fato de o sistema ser dimensionado para a situação do projeto.

Nisso, este artigo tem como objetivo verificar matematicamente o efeito do golpe de aríete numa ramificação na tubulação de uma adutora hipotética para verificar a necessidade de realizar tais estudos preliminares antes dessas adaptações para minimizar o risco de danos ou acidentes em situações de variações de alta pressão. A modelagem matemática-computacional deste transiente hidráulico consistirá em simular a interrupção forçada do fluxo a montante num sistema típico Reservatório - Tubulação -

Registro com uma ramificação central, por meio do fechamento lento de registros.

1.1 As Equações Fundamentais e o Método das Características (MOC)

O método das características aplicado às equações que governam o regime transiente tem como base de cálculo inicial os dados de carga

(H) e vazão (Q) obtidos sob regime permanente. Para a contemplação gráfica do método num plano cartesiano x-t (espaço e tempo), o trecho de uma tubulação a ser analisada é dividido em “n” seções (cada seção com seu respectivo Q e H) e disperso no eixo x (com Δx predefinido), onde o efeito transiente varia a cada passo de tempo, Δt (Fig. 1).

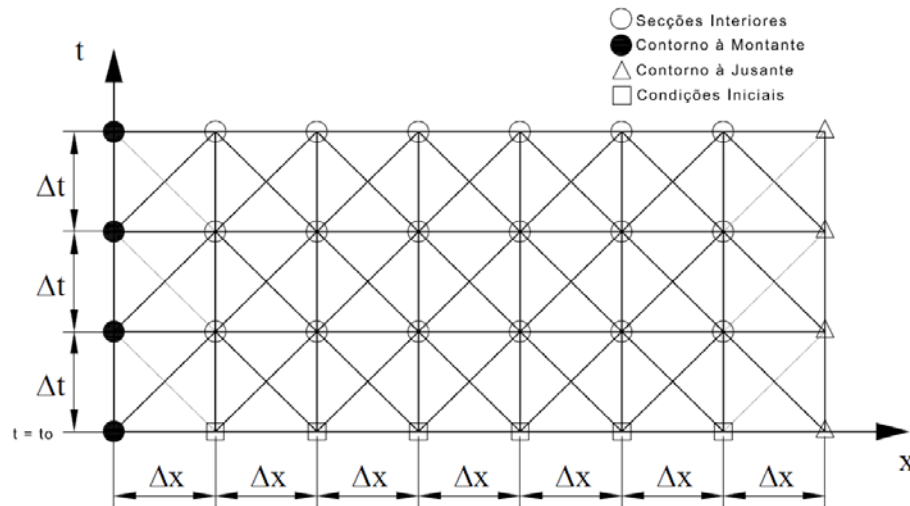


Figura 1 - Malha Característica (Chaudhry, 2014).

A discretização espacial e temporal deve obedecer ao critério de estabilidade e convergência, conhecido como Condição ou Número de Courant ($C_N = a \cdot \Delta t / \Delta x$), que estabelece uma relação entre Δx e Δt , fixando-se um valor e determinando-se o outro diretamente com o auxílio da celeridade e do C_N a ser adotado (valores entre 0,5 e 1,0).

Em adutoras, o efeito do golpe de aríete é definido por duas equações: as equações de continuidade e do momento para regimes de escoamento transitório. Chaudhry (2014) descreve essas equações parciais abaixo (Eq. 1 e 2), que governam o fenômeno:

$$L_1 = \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{fQ|Q|}{2DA} = 0 \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

onde, g = aceleração gravitacional [$L \cdot T^{-2}$]; a = celeridade [$L \cdot T^{-1}$]; A = área da seção nominal da adutora [L^2]; f = fator de atrito; t = tempo [T]; D = diâmetro nominal [L]; Q = vazão volumétrica [$L^3 \cdot T^{-1}$] e H = carga piezométrica [L].

Chaudhry (2014) mostra o desenvolvimento da transformação linear entre as equações (1) e (2)

($L = L_1 + \lambda L_2$), o sistema de Equações Diferenciais Parciais é convertido em Equações Diferenciais Ordinárias com a discretização temporal em Diferenças Finitas. O resultado pode ser representado pelas Eq. (3) até a (10).

C^+ representa a linha característica positiva AP (Fig. 2):

$$C^+ : Q_P = C_p - C_a H_P \tag{3}$$

$$C_p = Q_A + C_a H_A - R \cdot Q_A |Q_A| \tag{4}$$

$$\frac{dt}{dx} = +\frac{1}{a} \tag{5}$$

C_- representa a linha característica negativa BP:

$$C^- : Q_P = C_n + C_a H_P \tag{6}$$

$$C_n = Q_B - C_a H_B - R \cdot Q_B |Q_B| \tag{7}$$

$$\frac{dt}{dx} = -\frac{1}{a} \tag{8}$$

Onde:

$$C_a = \frac{gA}{a} \tag{9}$$

$$R = \frac{f \cdot \Delta t}{2DA} \tag{10}$$

Sendo C_a e R constantes que simplificam o entendimento das equações características (Eq. 3 e 6) e de C_p e C_n (Eq. 4 e 7), para a elaboração de uma rotina computacional em planilha de cálculo ou em linguagem de programação.

Os subscritos A e B referem-se respectivamente às secções antes e depois de P, num passo de tempo anterior (Fig. 2).

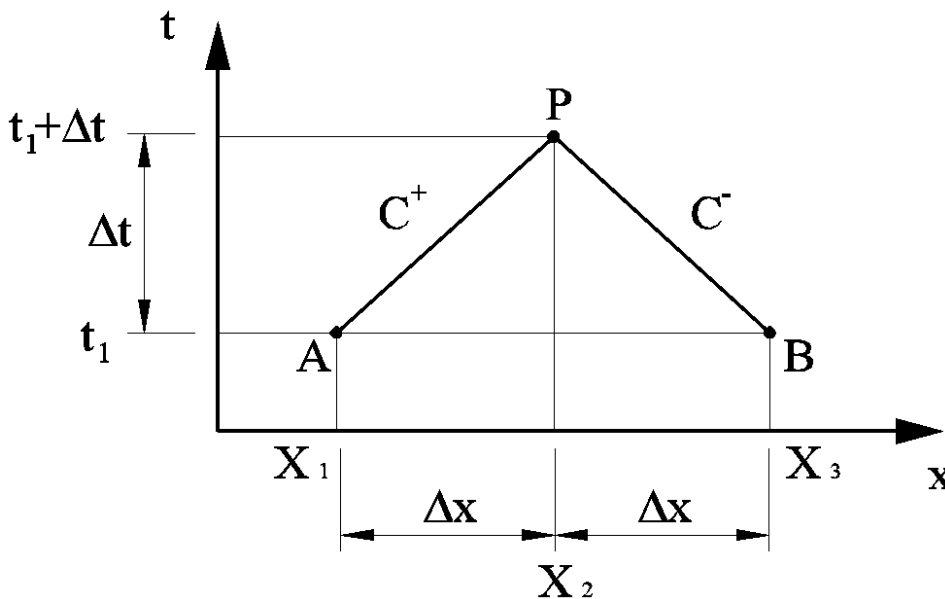


Figura 2 - Malha Característica Conceitual (Chaudhry, 2014).

Nisso, as variações de Q e H num determinado trecho podem ser determinadas a cada passo de tempo, utilizando os dados do passo

de tempo anterior até o fim do regime transiente, que é o retorno do regime permanente no sistema.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar a modelagem do transiente hidráulico, um cenário hipotético foi desenvolvido computacionalmente, de modo que representasse o efeito do golpe de aríete em uma ramificação de 250 mm de diâmetro numa secção central de uma adutora linear simples de diâmetro de 500 mm, de material em ferro fundido, com seus respectivos módulos de Young (E) e Poisson (ν).

Primeiramente, serão determinadas as pressões e vazões em regime permanente utilizando a equação de Bernoulli, proposta por Porto (2006). Só então o método das características será utili-

zado para modelar o regime transiente nas secções internas da adutora com as condições de contorno de uma junção numa ramificação por meio das equações de momento e continuidade desenvolvidos e ilustrados por Wylie e Streeter (1993) e Chaudhry (2014).

2.1 Condições de Contorno do Problema

O comportamento da junção de uma ramificação no regime transiente (Fig. 3) pode ser descrito pelas equações abaixo:

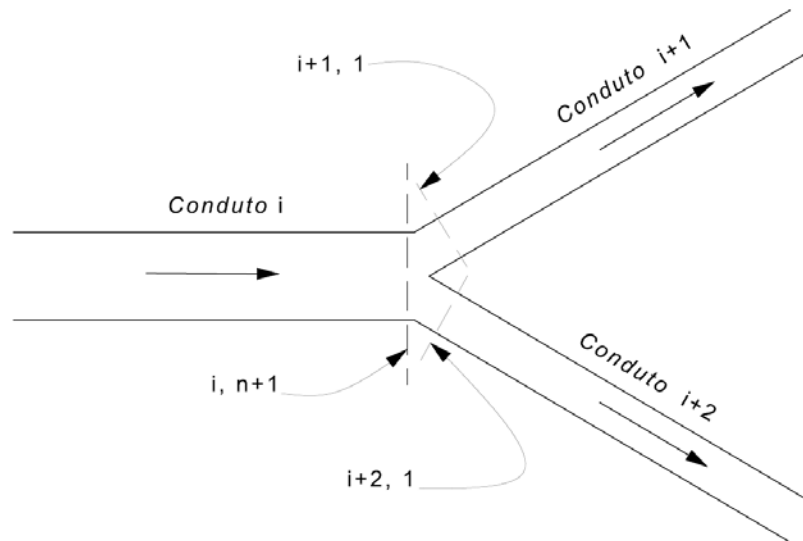


Figura 3 - Modelo de junção de ramificação (Chaudhry, 2014).

Os subscritos das variáveis devem ser entendidos da seguinte forma:

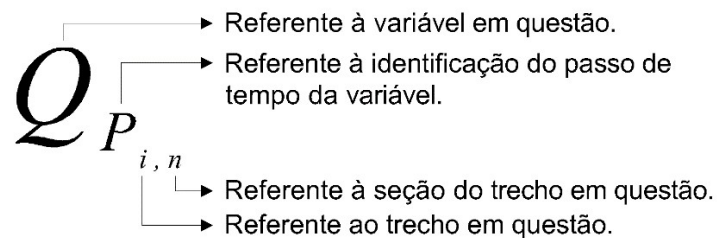


Figura 4 – Significado dos subscritos, segundo Chaudhry (2014).

- Equação da Continuidade:

$$Q_{P_{i,n+1}} = Q_{P_{i+1,1}} + Q_{P_{i+2,1}} \quad (11)$$

- Equações Características:

$$Q_{P_{i,n+1}} = C_{p_i} - C_{a_i} H_{P_{i,n+1}} \quad (12)$$

$$Q_{P_{i+1,1}} = C_{n_{i+1}} + C_{a_{i+1}} H_{P_{i+1,1}} \quad (13)$$

$$Q_{P_{i+2,1}} = C_{n_{i+2}} + C_{a_{i+2}} H_{P_{i+2,1}} \quad (14)$$

- Equação da energia:

As perdas de carga e o diferencial de velocidade em diferentes tubos na junção serão desprezados, sendo, assim a equação de energia (CHAUDHRY, 2014):

$$H_{P_{i,n+1}} = H_{P_{i+1,1}} = H_{P_{i+2,1}} \quad (15)$$

Sendo solução a Eq. (16):

$$H_{P_{i,n+1}} = \frac{C_{p_i} - C_{n_{i+1}} - C_{n_{i+2}}}{C_{a_i} + C_{a_{i+1}} + C_{a_{i+2}}} \quad (16)$$

Equações semelhantes podem ser derivadas para uma junção de ramificação com mais de três tubulações. O estudo do transitório hidráulico em redes também é contemplado nos trabalhos de Almeida e Koelle (1992), Wylie et al. (1993), Axworthy (1998), Sirvole (2007) e Sam Ani e Khayatzadeh (2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A modelagem numérica baseia-se num cenário típico de distribuição gravitária, reservatório-válvula, com uma junção de ramificação localizada no meio da adutora (Fig. 4). O regime permanente do sistema foi calculado e alocado como condição inicial no tempo $t = 0$.

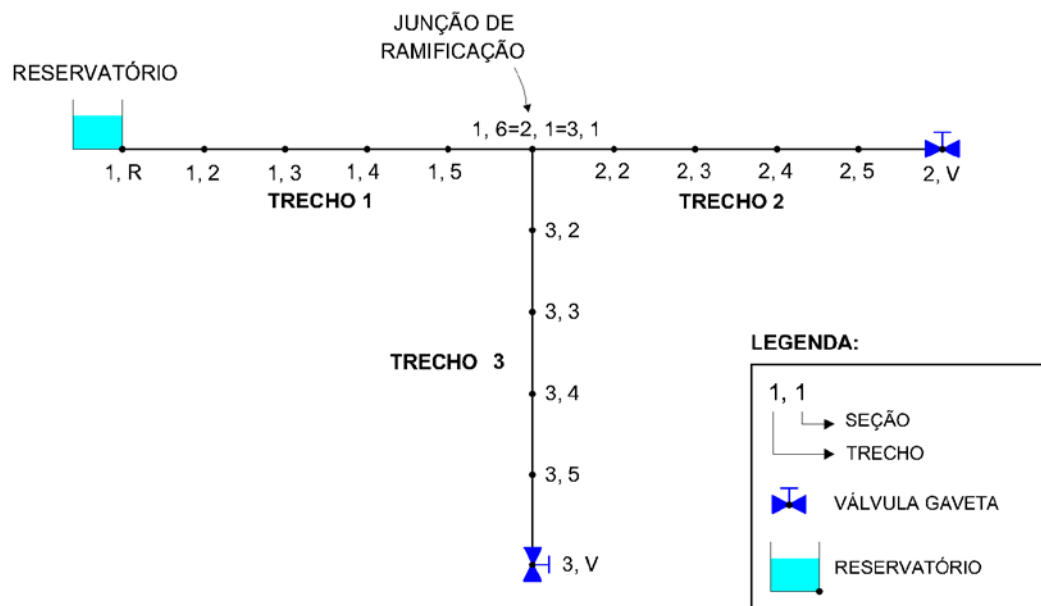


Figura 5 – Cenário Hipotético Proposto.

Os trechos 1 e 2 possuem 500 m de comprimento e 500 mm de diâmetro. O trecho 3 possui 500 m de comprimento e 250 mm diâmetro. Esse sistema, da forma como foi configurado, resulta em um fator de atrito de 0,156 nos trechos 1 e 2, e 0,268 no trecho 3. Cada trecho também foi dividido em 5 partes com 6 seções cada, todas sobre a cota geométrica 0,00, onde são desenvolvidas as análises do transiente hidráulico. O reservatório a montante possui o nível d'água de 150 m

acima da cota das seções e o material da tubulação é equivalente ao ferro fundido (rugosidade = 0,10 mm, espessura = 30 mm).

Tabela 1 – Informações dos trechos do cenário hipotético proposto.

Trecho	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Vazão (m ³ /s)
1	500	500	0,200
2	500	500	0,150
3	500	250	0,050

Tabela 2 - Informações das seções do cenário hipotético proposto.

Seção	Carga Piezométrica (m)
1,R	150,00
1,2	148,35
1,3	146,71
1,4	145,06
1,5	143,41
1,6	141,77
2,1	141,77
2,2	140,84
2,3	139,91
2,4	138,99
2,5	138,06
2,V	137,13
3,1	141,77
3,2	136,10
3,3	130,43
3,4	124,77
3,5	119,10
3,V	113,43

O método das características nesta análise de transiente consiste em definir uma condição inicial para realizar os cálculos a cada Δt (passo de tempo) predefinido, assim como realizado no trabalho de Ferreira et al. (2015) e Barbosa et al. (2018). No entanto, esse cenário tem uma junção de ramificação que necessita de uma condição de contorno específica para equalizar a variação da carga de pressão nos trechos.

A modelagem foi calculada em 400 passos de tempo de 0,07 segundo para vazão e carga de piezométrica.

3.1 Efeito do Golpe de Aríete na Vazão da Ramificação e do Reservatório

As seções (1,6), (2,1) e (3,1) estão sob o mesmo nó na junção da ramificação. A descarga nessa seção é dividida para cada ramificação. No fim dos trechos 2 e 3 há duas válvulas totalmente abertas. O regime transiente inicia quando os registros começam a fechar. A válvula gaveta da secção 2,V (leia-se válvula do trecho 2) fecha após 2,10 segundos (28 passos de tempo), e o da secção 3,V (leia-se válvula do trecho 3) fecha após 3,10 segundos (41 passos de tempo). Depois do fechamento, a medição da vazão na secção da junção varia até tornar-se estática (Fig. 6 e 7).

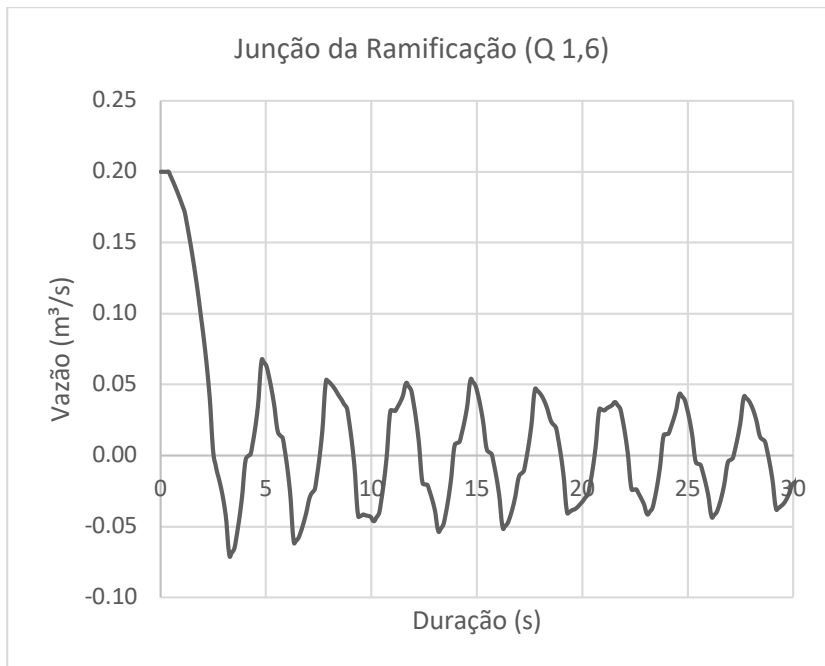


Figura 6 - Vazão na secção 1,6.

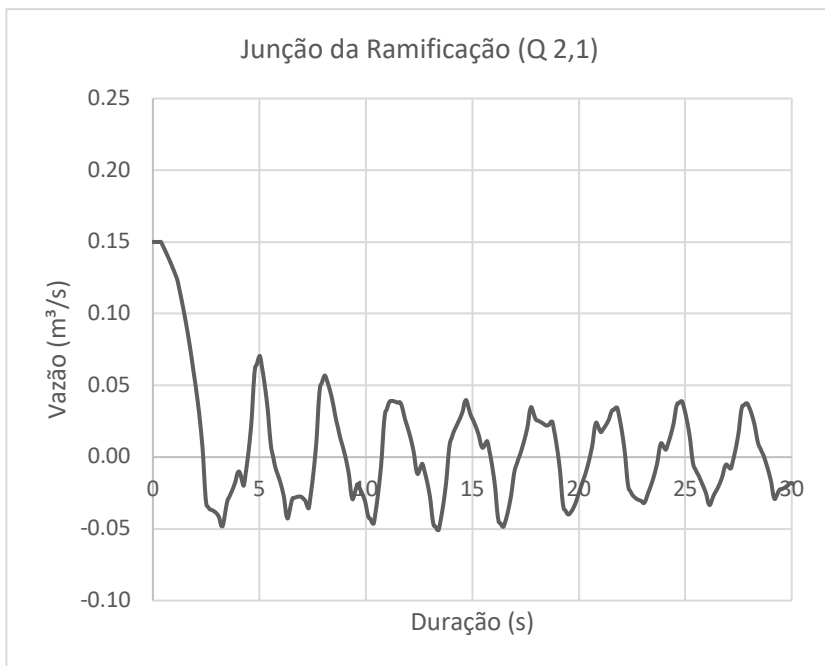


Figura 7 - Vazão na secção 2,1.

Na junção da ramificação, essa variação é mais intensa no trecho 3 (Fig. 8). Justifica-se porque a tubulação de diâmetro de 250 mm (Trecho 3) re-

cebe uma variação de carga de pressão de uma tubulação de 500 mm de diâmetro.

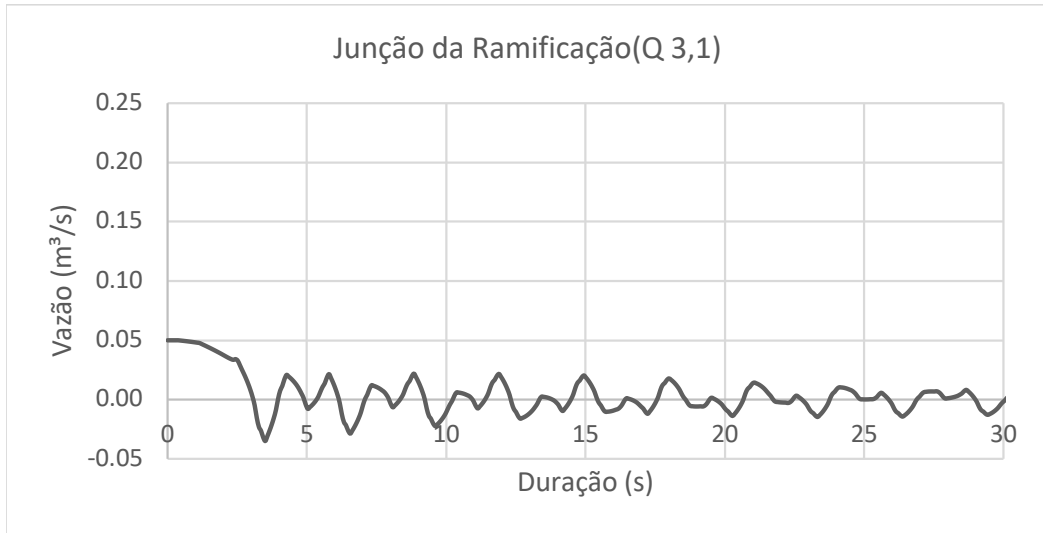


Figura 8 - Vazão na secção 3,1.

Pelo fato da inserção de uma ramificação num simples problema de Reservatório-Válvula, sugerido por Wylie et al. (1993) e Chaudhry (2014), as

oscilações na vazão que ocorrem na Reservatório (Fig. 9) mostram peculiaridades não observadas num caso mais simples (Fig. 10).

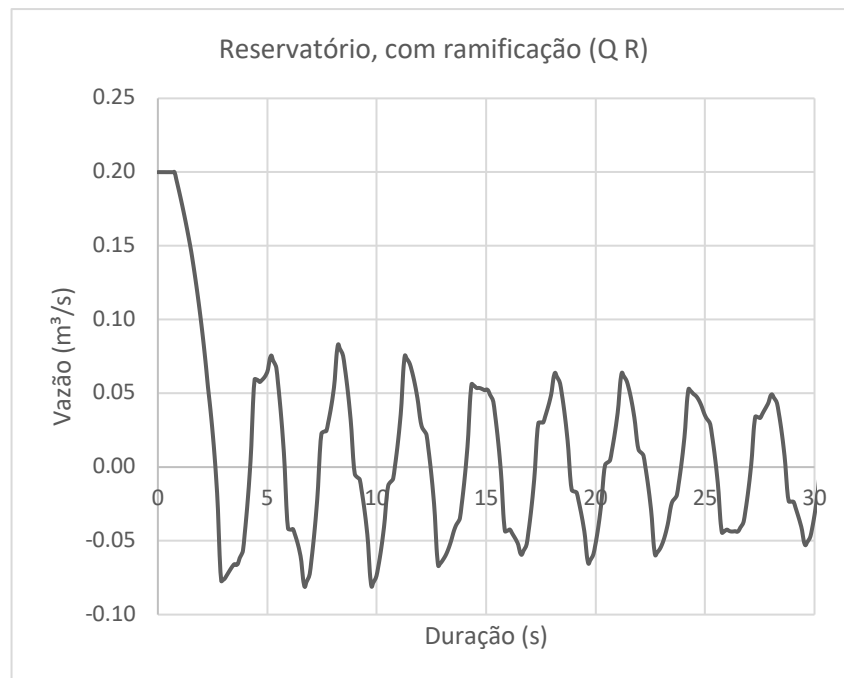


Figura 9 - Vazão no reservatório.

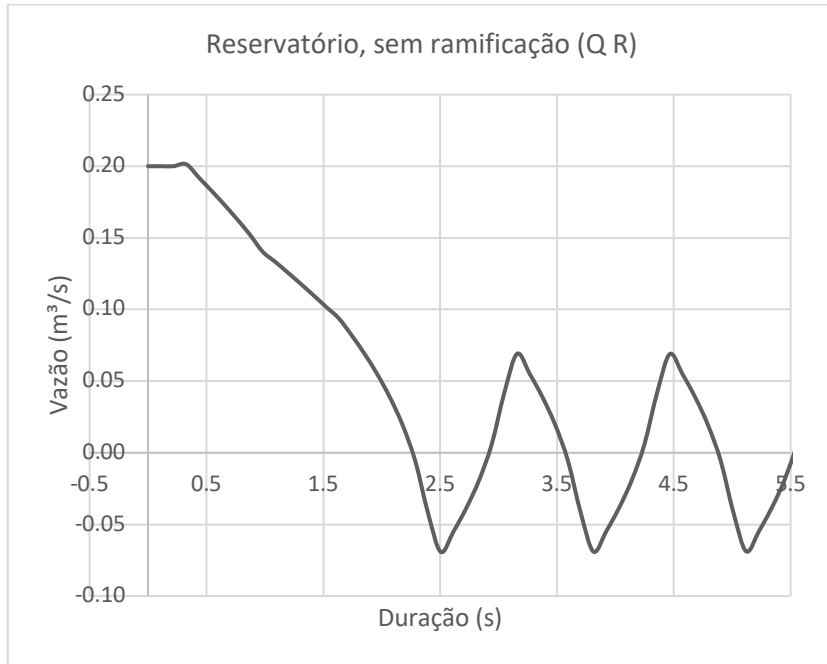


Figura 10 - Comparação com um caso de reservatório sem ramificação.

3.2 Efeito do Golpe de Aríete na Carga de Pressão na Ramificação e nas Válvulas

Analisando as cargas de pressão, nota-se uma forte e irregular oscilação a montante da válvula do trecho 3 comparado ao trecho 2 (Figs. 11 e 12)

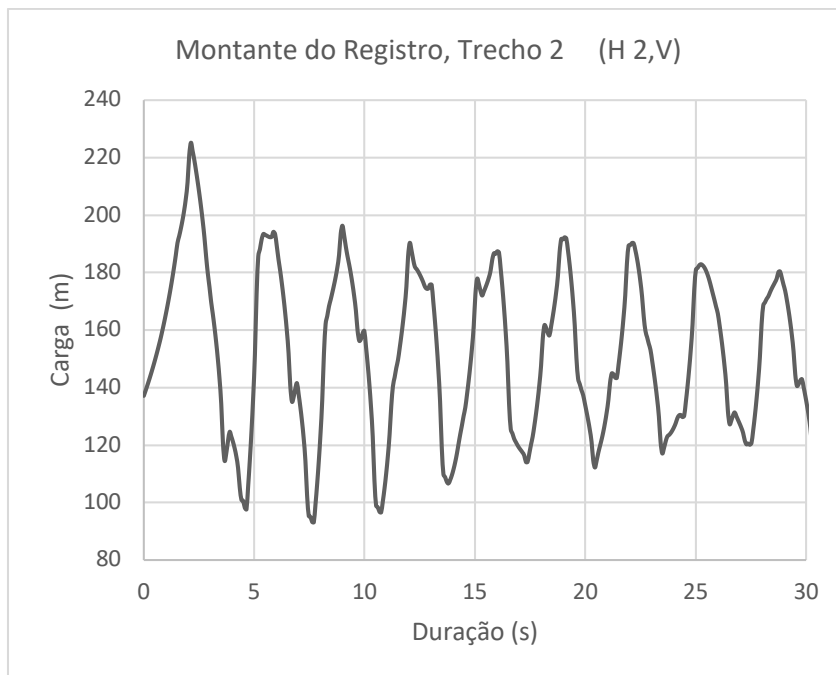


Figura 11 - Carga piezométrica a montante do registro, trecho 2.

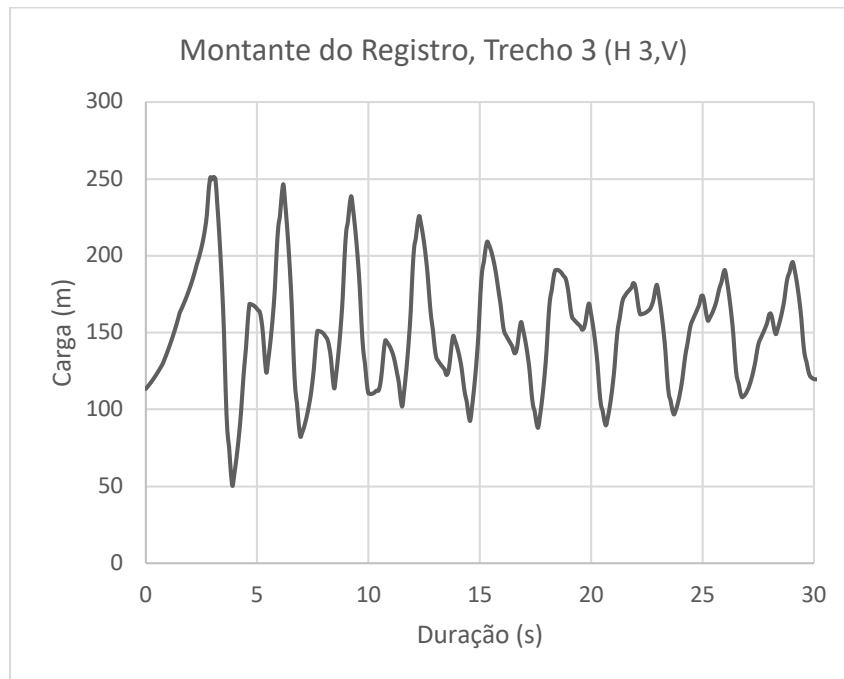


Figura 12 - Carga piezométrica a montante do registro, trecho 3.

Embora o comportamento da carga de pressão seja semelhante ao sugerido por Wylie e Streeter (1993) e Chaudhry (2014) e aos resultados de Barbosa et al. (2018), Boulos et al. (2005), a interferência dos efeitos da ramificação intensificou a pressão em 54,86% na seção da válvula do trecho 3 (Tabela 3). Isso pode causar muitos danos no sistema de adução, como vazamentos e rompimentos. Tal comportamento também é analisado nos trabalhos de Sirvole (2007) e Sam Ani e Khayatzadeh (2010).

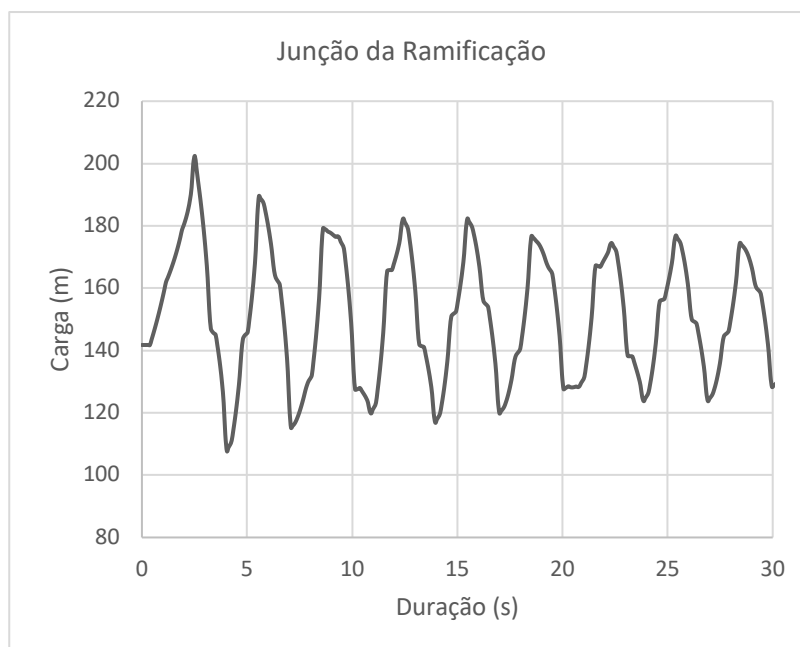
Na análise das cargas mínimas não houve indícios de cavitação, no caso, pressão relativa menor que zero, que poderiam causar problemas de formação de vapor, acúmulo de vazios na tubulação, separação de coluna ou até a implosão das paredes dos tubos (DAUDE et al., 2018; SANTORO et al., 2018; ZHOU, 2018). Entretanto, em situações reais com variação de cota em todo o sistema, haverá a cavitação em trechos que estejam próximos à linha piezométrica (AZEVEDO NETTO & FERNÁNDEZ, 2018).

Tabela 3 - Resultados máximos e mínimos da variação da carga piezométrica nas seções dos trechos do cenário hipotético durante o transitório hidráulico.

Seção	Carga Piezométrica (m)	Carga Máxima Transiente	Variação (%)	Carga Mínima Transiente	Variação (%)
1,R	150,00	150,0000	0,00	150,0000	0,00
1,2	148,35	167,3537	11,36	133,6993	10,96
1,3	146,71	178,8535	17,97	122,7777	19,49
1,4	145,06	187,6844	22,71	114,1989	27,02
1,5	143,41	194,8217	26,39	109,5971	30,85
1,6	141,77	202,4334	29,97	107,7237	31,61
2,1	141,77	202,4334	29,97	107,7237	31,61
2,2	140,84	208,7464	32,53	109,3419	28,81
2,3	139,91	214,0062	34,62	104,5569	33,81
2,4	138,99	218,3953	36,36	97,4037	42,69
2,5	138,06	222,1956	37,87	94,1209	46,68
2,V	137,13	225,1987	39,11	93,1742	47,18
3,1	141,77	202,4334	29,97	107,7237	31,61
3,2	136,10	207,1343	34,29	91,8766	48,13
3,3	130,43	212,8285	38,72	78,9120	65,29
3,4	124,77	226,8926	45,01	67,2426	85,55
3,5	119,10	238,4126	50,04	57,7539	106,22
3,V	113,43	251,3025	54,86	50,2959	125,53

Comparando com a situação sem ramificação proposta por Wichowsky (2006), a pressão, assim como a vazão, tem um efeito harmônico e rápido do transiente (Fig. 13 e 14). Esses efeitos danosos dos transientes podem ser minimizados com mecanismos de alívio como ventosas (PEROBA JUNIOR, 2007; RODRIGUES, 2008; BARBOSA, 2015), chaminé de equilíbrio, reservatórios

hidropneumáticos, válvulas de alívio e outros equipamentos disponíveis no mercado (BOULOS et al., 2005; TASSINARI, 2017). Também, em condições de operação de manobra de registros, nos casos das válvulas dos trechos 2 e 3, o fechamento lento favorece o alívio do golpe de aríete de modo que, quanto mais demorado for, menor será o efeito do transitório hidráulico.

**Figura 13** - Carga piezométrica na Seção 1,6 = 2,1 = 3,1.

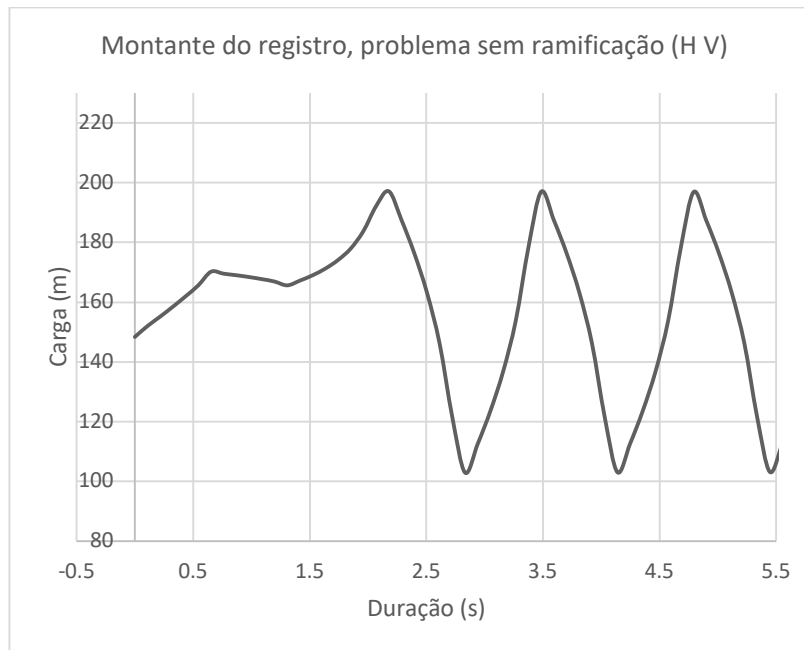


Figura 14 - Comparação com um problema sem junção (adutora em linha).

Para estudos futuros, a análise dos efeitos de superposição da celeridade pode ser mais bem calibrada, pois este trabalho considerou os mesmos fatores de atrito do regime permanente para simplificar a modelagem. Além disso, a modelagem com mecanismos de alívio pode ser implementada para verificar a viabilidade de uma junção de ramificação no projeto.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados de variação de pressão na junção da ramificação obtidos por meio de modelagem computacional do golpe de aríete numa adutora hipotética, pode-se concluir que, no regime transiente forçado pelo fechamento lento do registro da ramificação, houve uma variação positiva na carga piezométrica de 54,86% na junção a montante da válvula do trecho 3, maior do que a carga do reservatório do sistema. Problema que pode se agravar numa situação real, onde a geometria do terreno pode interferir

e amplificar o efeito da cavitação, além das operações de aberturas e fechamento de registros ao longo do trecho e no aumento da capacidade de bombeamento supracitados na problemática deste trabalho.

Com isso, além da necessidade de realizar um trabalho de verificação de furtos ou desvios no sistema, é indispensável realizar verificações das cargas e vazões em situações de ramificação subsequentes aos projetos originais, de modo que não haja consequências graves ao negligenciar-se o efeito do golpe de aríete nas adutoras.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Introdução, Sanders Neto VC; **Materiais e Métodos**, Sanders Neto VC; **Resultados e Discussões**, Sanders Neto VC; **Redação – Primeira versão**, Sanders Neto VC; **Redação – Revisão & Edição**, Barbosa JMC e Castro MAH; **Infraestrutura**, Castro MAH.

6 AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio e financiamento desta pesquisa. Agradeço ao meu orientador, Professor Marco Aurélio, pelo incentivo à produção acadêmica. Ao meu Co-orientador João Marcelo, pois ele é a nossa base de referência em Hidráulica Transiente e Programação Computacional.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. B.; KOELLE, E. **Fluid Transients in Pipe Networks**. Elsevier Applied Science Press. 584 p. 1992.
- AXWORTHY, D. H. **Water distribution network modelling: from steady state to waterhammer**. University of Toronto. 236 p. 1998.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de hidráulica**. Editora Blücher, 632 p., 2018.
- BARBOSA, J. M. C. Tese. **Modelagem computacional de transientes hidráulicos em ventosas de tríplex função e non slam considerando as curvas de admissão e expulsão de ar**. Universidade Federal do Ceará, Brasil, 2015.
- BARBOSA, J. M. C.; COSTA, J. N. A.; PAIVA, B. A.; SANDERS NETO, V. C.; DE CASTRO, M. A. H. Modelagem computacional de transientes hidráulicos em ventosas de tríplex função e non slam considerando as curvas de admissão e expulsão de ar comerciais. In: XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires - Argentina, v. 1, p. 259-269, 2018. **Anais...**
- BOULOS, P. F.; WOOD, D. J.; LINGIREDDY, S. Shock and Water Hammer Loading. Pressure Vessels and Piping Systems. **Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)**, p. 32, 2015.
- CHAUDHRY, M. H. **Applied Hydraulic Transients**. 4ª Edição, Columbia, South Carolina, USA: Springer, 2014.
- DAUDE, F.; TIJSSELING, A. J.; GALON, P. Numerical investigations of water-hammer with column-separation induced by vaporous cavitation using a one-dimensional Finite-Volume approach. **Journal of Fluids and Structures**. v. 83, p. 91-118, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2018.08.014>.
- DIÁRIO DE QUIXADÁ. Ceará: AgênciaClig, [24 jul. 2017]. Diário Disponível em: <<http://www.diariodequixada.com.br/cidades/ibaretama-cagece-detecta-furto-de-agua-da-adutora-que-sai-do-acude-macacos-crime-ameaca-abastecimento/>>. Acesso em: 16 mar. 2018.
- FERREIRA, F. E. F. R.; BARBOSA, J. M. C.; DE CASTRO, M. A. H. Modelagem computacional do golpe de aríete em condutos plásticos. **Revista DAE**, v. 64, p. 20-31, 2015.
- FOLHA DE SÃO PAULO. São Paulo: Grupo Folha, [14 mar. 1999]. Diário. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/brasil/fc14039913.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2018.
- JORNAL DO COMMERCIO. Pernambuco: Grupo Jornal do Comercio, [05/05/2017]. Diário. Disponível em: <<http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/cidades/policia/noticia/2017/05/05/policia-prende-suspeitos-de-desviar-agua-da-adutora-do-prata-281797.php>>. Acesso em: 16 mar. 2018.
- TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO PIAUÍ. Piauí: Governo do Estado do Piauí, [13 ago. 2013]. Diário. Disponível em: <<https://tj-pi.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/294160479/apelacao-criminal-apr-6843920118180073-pi-201300010026810>>. Acesso em: 16 mar. 2018.
- PEROBA JÚNIOR, F. Dissertação, **Modelagem computacional de ventosas de duplo efeito como mecanismo de alívio do golpe de aríete**. Universidade Federal do Ceará, Brasil, 2007.
- SAM ANI, H. M. V.; KHAYATZADEH, A. **Transient flow in pipe networks**. Journal of Hydraulic Research, v. 40, n. 5, p. 637-644, 2010.
- SANTORO, V. C.; CRIMÌ, A.; PEZZINGA, G. Developments and Limits of Discrete Vapor Cavity Models of Transient Cavitating Pipe Flow: 1D and 2D Flow Numerical Analysis. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 144, n. 8, p. 04018047, 2018.
- SIRVOLE, K. **Transient analysis in pipe networks**. Virginia Polytechnic Institute & State, USA, 2007.
- RODRIGUES, M. V. S. Dissertação, **Modelagem computacional de ventosas automáticas de duplo efeito com abertura e fechamento não instantâneos como mecanismo de alívio do golpe de aríete**. Universidade Federal do Ceará, Brasil, 2008.
- TASSINARI, L. C. S. **Transientes hidráulicos em sistemas de bombeamento: influência do material do conduto e dispositivo de proteção**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2017.
- TRIKI, A. Dual-technique-based inline design strategy for water-hammer control in pressurized pipe flow. **Acta Mechanica**, v. 229, p. 2019-2039, 2018.
- WYLIE, E. B.; STREETER, V. L.; SUO, L. **Fluid Transient in Systems**. Prentice Hall. New Jersey, USA., 1993.
- ZHOU, L. et al. Godunov-Type Solutions with Discrete Gas Cavity Model for Transient Cavitating Pipe Flow. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 144, n. 5, p. 04018017, 2018.
- ZHU, Y.; DUAN, H. F.; LI, F.; WU, C. G.; YUAN, Y. X.; SHI, Z. F. Experimental and numerical study on transient air-water mixing flows in viscoelastic pipes. **Journal of Hydraulic Research**. p. 1-11, 2018. <https://doi.org/10.1080/00221686.2018.1424045>.