

# Pré-dimensionamento de válvulas de alívio a partir do cálculo de volume expulso de água durante transitório hidráulico

*Pre-sizing of pressure relief valves from calculating volume of water expelled during hydraulic transients*

• **Data de entrada:**  
10/08/2022

• **Data de aprovação:**  
29/08/2022

Lucas Florêncio da Cunha Teixeira<sup>1\*</sup> | José Paulo da Silveira Neto<sup>1</sup> |  
Vicente de Castro Sanders Neto<sup>1</sup> | Bruno Araújo Paiva<sup>1</sup> | João Marcelo Costa Barbosa<sup>1</sup> |  
Marco Aurelio Holanda de Castro<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.050>

## ORCID ID

Teixeira LFC  <https://orcid.org/0000-0002-7964-4970>

Silveira Neto JP  <https://orcid.org/0000-0002-4392-4102>

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

Paiva BA  <https://orcid.org/0000-0002-6971-6184>

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

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

## Resumo

Este trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade da adoção de determinados diâmetros de válvula de alívio para algumas configurações de adutora durante eventos de parada de bomba e posterior golpe de aríete. Para isso, adotou-se a modelagem computacional do transiente hidráulico a partir do UFC 7, que utiliza o Método das Características e o modelo de Cavidade de Gás Livre Discreto com celeridade variável, e da válvula de alívio por meio do uso da equação da vazão através do orifício e das curvas de abertura e fechamento da válvula proposta por Bell et al. (2020), com adaptações para evitar sobrepressões secundárias. Os resultados obtidos foram ilustrados por meio de três configurações distintas de adutoras, em que foram exibidas as envoltórias de pressão e os gráficos de volume disponível nas tubulações ao longo do tempo. A partir destes, verificou-se que diâmetros elevados de válvula de alívio promovem o esvaziamento total da água existente na adutora, o que na prática é impossível de ocorrer. Assim, pode-se propor a adoção de diâmetros ideais para cada caso, também sendo observado o critério de geração de sobrepressões secundárias. Ademais, foram testados mais oito casos e, a partir de algumas combinações dos dados de entrada destas adutoras, foi proposta uma equação para pré-dimensionamento da válvula de alívio. Sugere-se, então, que essa equação seja testada em casos distintos para averiguar se, de fato, cumpre a função pretendida.

**Palavras-chave:** Válvulas de Alívio. Transitórios Hidráulicos. Método das Características. Pré-dimensionamento.

## Abstract

*This paper aims at evaluating the feasibility of adopting certain diameters for pressure relief valves for some water pipelines' setups during pump shut-off events and water hammer. For that, the computational modeling of hydraulic transients from UFC 7 was adopted, which uses Method of Characteristics and Discrete Gas Cavity Model with unsteady wave speed, and of pressure relief valve by using both the equation of flow through an orifice and the valve opening and closing curves proposed by Bell et al. (2020), with modifications for avoiding secondary overpressures. The obtained results were the pressure envelopes and the graphics of volume available in the pipes over time for three*

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

\* **Autor correspondente:** [lucasfengcivil@gmail.com](mailto:lucasfengcivil@gmail.com).

*different pipelines' setups. From them, it was verified that high diameters of pressure relief valves provide the full emptying of existing water in the pipeline, which is impossible to happen in practical matters. Therefore, the ideal pressure relief valve diameter was proposed for each case, also by observing the generation of secondary overpressures criterion. Besides, other eight cases were tested and, from a few combinations of these pipelines' input data, a pre-sizing equation for pressure relief valve was proposed. So, it is suggested that equation is tested in different scenarios in order to check if it fulfills its purpose.*

**Keywords:** Pressure Relief Valves. Hydraulic Transients. Method of Characteristics. Pre-sizing.

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de adução hidráulica e distribuição de água devem apresentar segurança durante a operação e no controle de pressões e vazões. O golpe de aríete é um fenômeno que pode alterar essa condição, ao elevar ou reduzir brusca e rapidamente as pressões ao longo das adutoras, sendo os fenômenos mais comuns de ocasionarem essas mudanças aberturas ou fechamentos rápidos de válvulas ou desligamentos rápidos de bombas (TEIXEIRA et al., 2022). Recomenda-se, portanto, a adoção de dispositivos de alívio para atenuar essas sobrepressões e subpressões.

Um exemplo de dispositivo é a Válvula de Alívio de Pressão (Pressure Relief Valve - PRV), projetada para abrir no momento em que a pressão onde ela está instalada supera um determinado valor configurado no dispositivo (KÖPPL; FEDOSEYEV; HELMING, 2019). Esse valor normalmente é denominado pressão de abertura ou de regulação.

A abertura da válvula, nessas condições, favorece a expulsão da água, aliviando a pressão interna do sistema. Conforme sugerem Lyu et al. (2021), essa abertura deve ser feita em um curto intervalo de tempo, expulsando um volume de água suficiente para reduzir rapidamente o pico de pressão. No momento em que a pressão fica novamente abaixo da pressão de regulação, a válvula fecha. Entretanto, caso a válvula apresente fechamento muito rápido, podem ser geradas

sobrepressões secundárias (LYU et al., 2021), originadas do choque da coluna líquida com o dispositivo de fechamento da válvula.

Uma outra questão é a seleção do diâmetro da válvula de alívio. A válvula opera conforme a equação da vazão através do orifício (BARBOSA; CASTRO, 2014; CHAUDRY, 2014), que depende diretamente da área de abertura do orifício. Caso seja adotada uma válvula de diâmetro muito grande, pode haver interferências diretas na vazão que sai através da válvula. Nesses casos, pode ocorrer o esvaziamento total da água existente na adutora, tornando o modelo fisicamente impossível, já que o volume total de água não deve ser inferior ao volume que sai pela válvula durante o transiente.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a simulação do transiente hidráulico através do Sistema UFC - Módulo 7 (FERREIRA; BARBOSA; CASTRO, 2015; BARBOSA; CASTRO, 2014; SANDERS NETO; BARBOSA; CASTRO, 2019; TEIXEIRA et al., 2022) para averiguar, numericamente, se a adoção de diâmetros muito grandes para a válvula de alívio gera valores negativos de volume ao longo do tempo do fenômeno transiente. Além disso, também é proposta uma equação de pré-dimensionamento do diâmetro da válvula para evitar essa situação.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Modelagem Numérica e Computacional

O método numérico implementado computacionalmente e adotado neste trabalho é o Método das Características (MOC), cujo desenvolvimento das equações características positiva e negativa foi desenvolvido por Chaudhry (2014). O método consiste em uma série de cálculos iterativos no decorrer do tempo e que parte, inicialmente, das condições do regime permanente da adutora simulada. O MOC, aplicado às equações do momento e da continuidade, determina a carga piezométrica e vazão em todos os passos de tempos considerados na simulação (BARBOSA; CASTRO, 2014; SANDERS NETO; BARBOSA; CASTRO, 2020).

Durante a realização deste trabalho, observou-se que a adoção da válvula de alívio com o modelo clássico do MOC apresentou alguns erros numéricos, devido principalmente a subpressões excessivas que surgiram em alguns casos. Dessa forma, para que esse problema fosse contornado, incorporou-se ao MOC o modelo de Cavidade de Gás Livre Discreto (DGCM) com celeridade variável proposto por Nguyen (2009), implementado com incorporação da dilatação do gás no UFC

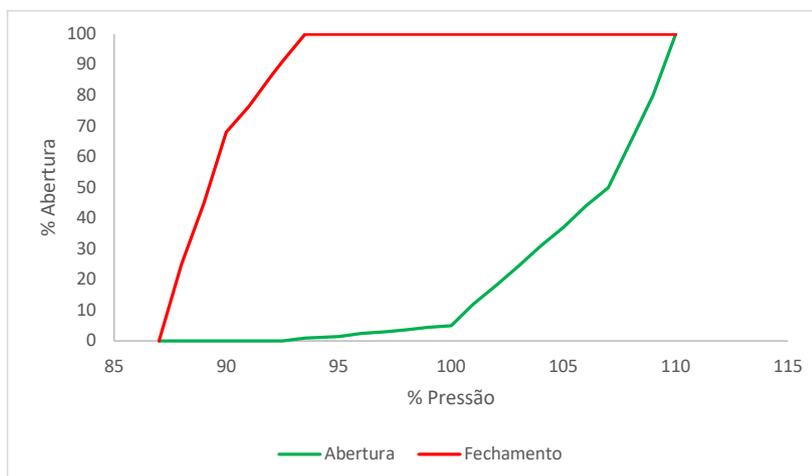
7 por Paiva et al. (2021). Esse modelo se adequou melhor às simulações por limitar a subpressão à pressão atmosférica, evitando esse problema.

Assim, a condição de contorno da válvula de alívio é dada pela Eq. 1 (BARBOSA; CASTRO, 2014; CHAUDRY, 2014):

$$Q_{P_v} = C_d A_v \alpha \sqrt{2g(H_{P_{i,n+1}} - z_o)} \quad (1)$$

Sendo  $Q_{P_v}$  a vazão expurgada pela válvula a cada passo de tempo [ $L^3T^{-1}$ ];  $C_d$  o coeficiente de descarga da válvula;  $A_v$  a área de abertura da válvula [ $L^2$ ];  $\alpha$  a fração de abertura da válvula (em função da pressão na válvula);  $g$  a aceleração da gravidade [ $LT^{-2}$ ];  $H_{P_{i,n+1}}$  a carga piezométrica na seção (i,n+1) [L], imediatamente anterior ao nó da válvula; e  $z_o$  a cota da seção da válvula [L].

O coeficiente  $\alpha$  é obtido a partir da adoção da função de abertura e fechamento da válvula “Spring Loaded (Liquid)”, presente no estudo realizado por Bell et al. (2020). Foram feitas algumas modificações nessa função devido aos testes realizados de forma a evitar fechamentos bruscos na válvula, o que gera os problemas de sobrepressão relatados anteriormente.



**Figura 1** - Função de abertura e fechamento da válvula de alívio de pressão.

Fonte: Adaptado de Bell et al. (2020).

A “% Pressão” no gráfico acima representa a razão entre a pressão máxima transiente e a pressão de abertura da válvula, e a “% Abertura” corresponde ao coeficiente  $\alpha$ . A interpretação da Fig. 1 deve ser realizada da seguinte maneira: a válvula inicia a sua abertura e fechará se atingir um valor de “% Pressão” maior ou igual a 110%. Se esse valor não for atingido, a válvula irá se manter com “% Abertura” constante, correspondente ao valor máximo de “% Pressão” obtido durante o regime transiente na curva de abertura, expurgando a água da adutora até que a “% Pressão” seja equivalente a algum valor correspondente à curva de fechamento. Desse ponto em diante, “% Abertura” irá se comportar conforme a curva de fechamento da Fig. 1.

## 2.2 Obtenção dos volumes durante o transiente hidráulico

Para a obtenção do volume que sai da válvula de alívio durante o transiente, consideraram-se os momentos em que a válvula se manteve aberta e o valor de vazão retirado durante esse espaço de tempo. Portanto, a Eq. 2 ilustra o volume expulso pela válvula de alívio durante o transitório hidráulico.

$$V_{valv} = \sum Q_{P_v} \Delta t \quad (2)$$

Em que  $V_{valv}$  é o volume total retirado pela válvula de alívio [ $L^3$ ];  $Q_{P_v}$  é a vazão que sai pela válvula de alívio em cada passo de tempo [ $L^3T^{-1}$ ]; e  $\Delta t$  é o passo de tempo adotado na simulação [T]. Como a análise é discretizada por passo de tempo, ao final da simulação, realizando-se o somatório de todos os instantes em que a válvula se manteve aberta durante o tempo total considerado, obtém-se o volume total expurgado pela válvula.

No caso da adutora, por se tratar de conduto forçado, ou seja, a água ocupar toda a seção transversal das tubulações, considerou-se que seu volume total é dado pela Eq. 3:

$$V_{total\_adutora} = \sum_{i=1}^n L_i A_i \quad (3)$$

Onde  $V_{total\_adutora}$  corresponde ao volume total de água presente em toda a adutora [ $L^3$ ];  $L_i$  é o comprimento de cada um dos trechos [L];  $A_i$  é a área da seção transversal de cada trecho [ $L^2$ ]; e  $n$  é a quantidade de trechos presentes na adutora. Para a obtenção das áreas, foi adotado o diâmetro interno das tubulações.

Portanto, para realizar o estudo proposto, obtém-se o volume disponível subtraindo-se os dois volumes obtidos anteriormente, conforme Eq. 4, de forma a verificar se a válvula de alívio expulsaria mais água do que aquela presente na adutora.

$$V_{disp} = V_{total\_adutora} - V_{valv} \quad (4)$$

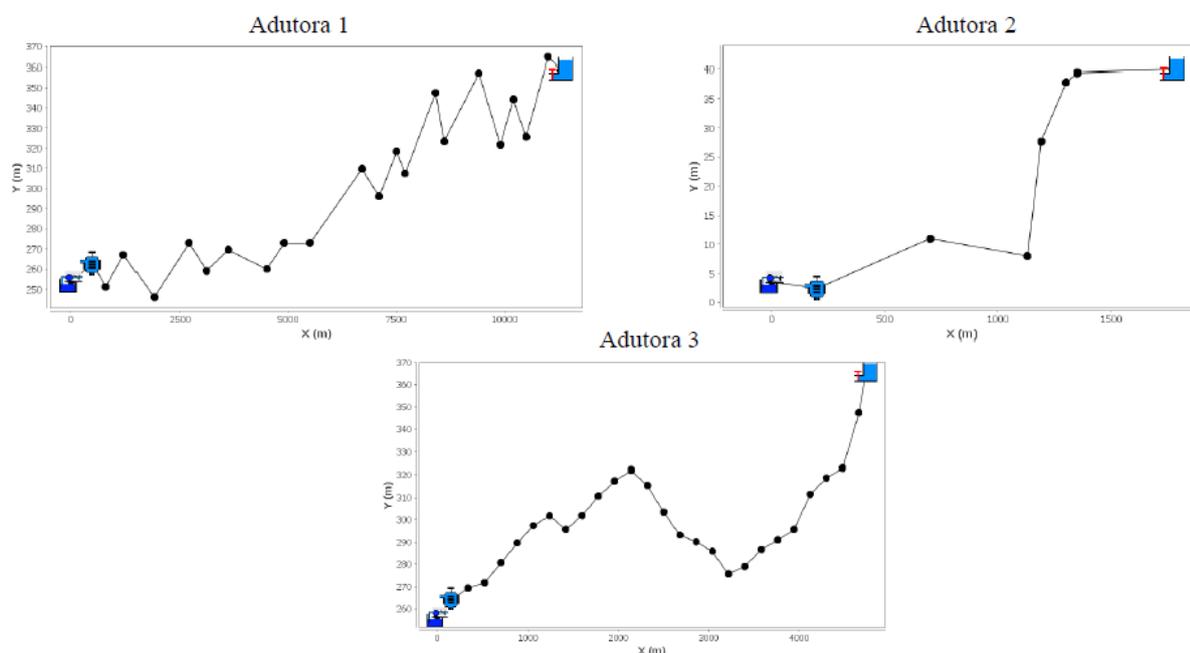
## 2.3 Simulações da válvula de alívio no UFC 7

Procedeu-se com as simulações do transitório hidráulico por meio do UFC 7, sempre com a situação de parada de bomba. Segundo Lyu et al. (2021), a válvula de alívio normalmente é posicionada na seção logo a jusante da bomba devido à baixa elevação da tubulação e alta pressão nesse ponto. Portanto, em todos os testes realizados, essa foi a posição adotada para a válvula.

As adutoras selecionadas para ilustrar as simulações deste trabalho são: Adutora 1 (Adutora com ferro), composta de Ferro Fundido K7 JTI; Adutora 2 (Adutora Cuiá), cujas tubulações apresentam PVC DEFoFo como material constituinte; e Adutora 3 (Adutora da Bacia Leiteira Alagoas), constituída de tubulações de aço. As informações da Tabela 1 foram utilizadas como dados de entrada para a simulação do transiente hidráulico das adutoras e suas representações esquemáticas encontram-se na Fig. 2.

**Tabela 1** - Dados de entrada das simulações.

	Adutora 1	Adutora 2	Adutora 3
Comprimento total (m)	11.300,00	1.770,00	4.740,00
Vazão inicial (m <sup>3</sup> /s)	0,016	0,101	0,800
Momento de inércia do conjunto motobomba (m <sup>4</sup> )	0,900	3,559	7,510
Rendimento da bomba	0,48	0,73	0,80
Altura manométrica total (m)	190,00	53,00	129,33
Rugosidade das tubulações (mm)	0,2600	0,0015	0,0450
Rotação do rotor (rpm)	3.550	1.750	1.750
Diâmetro da tubulação (mm)	150	300	700
Espessura da tubulação (mm)	5,20	13,10	5,60
Módulo de Elasticidade (GPa)	172,00	3,00	206,00
Coefficiente de Poisson	0,28	0,38	0,27
Celeridade estimada (m/s)	1.279,80	362,10	978,13
Pressão de Abertura da Válvula (mca)	180,00	60,00	140,00

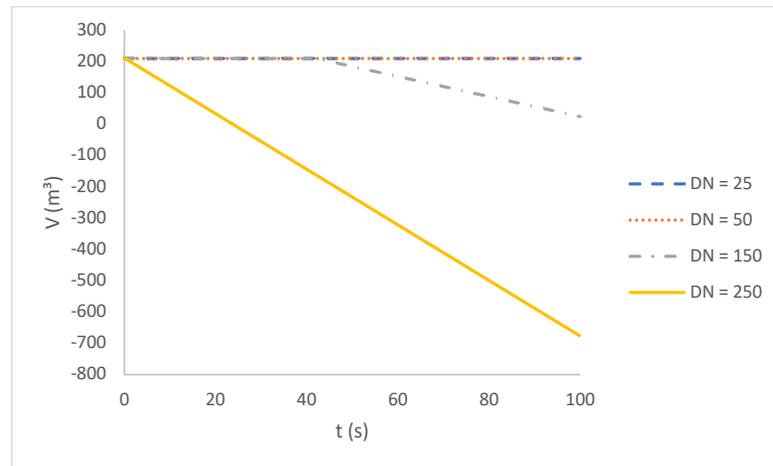
**Figura 2** - Representação esquemática dos perfis longitudinais das adutoras simuladas no UFC 7.

Os volumes disponíveis foram comparados com alguns diâmetros diferentes de válvula para cada uma das adutoras, a depender dos resultados obtidos. Levou-se em conta, além da questão do volume, que a válvula ideal para cada situação é aquela em que não ocorrem sobrepressões secundárias, algo que foi observado nos trechos próximos ao reservatório de jusante e no trecho a montante da válvula de alívio.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Adutora 1

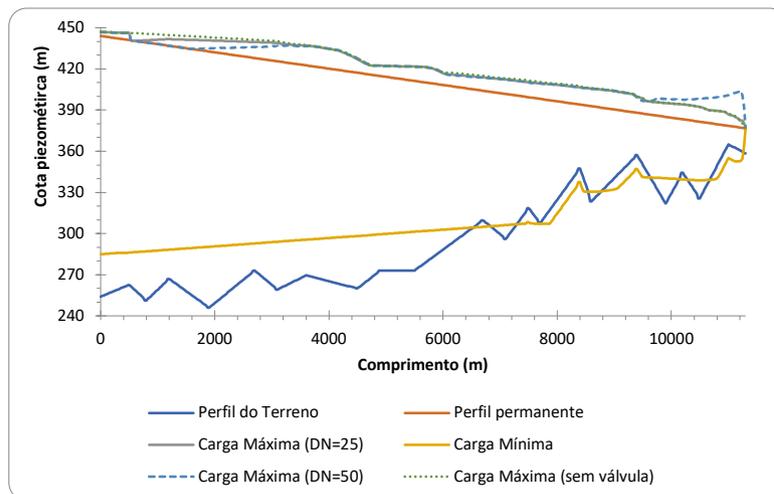
Na simulação da Adutora com ferro, foram comparados os resultados de volume disponível ao longo do tempo para os DN da válvula de alívio de 25 mm, 50 mm, 150 mm e 250 mm. A Fig. 3 ilustra o resultado obtido.



**Figura 3** - Volumes disponíveis na Adutora 1 para quatro DN de válvulas de alívio.

Para DN de 150 mm, há uma variação considerável no volume disponível a partir de aproximadamente 42 segundos de simulação. O volume disponível, ao fim da simulação, chega aproximadamente a zero. Esse comportamento pode justificar os erros numéricos observados na envoltória de sobrepressões ao gerar esse resultado no UFC 7. Esse problema é ainda mais acentuado quando é adotado o DN de 250 mm, cujo volume disponível varia consideravelmente desde o início da simulação, chegando a valores negativos a partir de aproximadamente 22 segundos, algo que não ocorre na prática.

Observa-se que para DN de 25 mm e 50 mm, praticamente não há diferenças de volumes disponíveis na adutora (Fig. 3). Entretanto, em termos de envoltórias de pressão, apesar de a válvula de 50 mm proporcionar um alívio maior, considerou-se que a válvula ideal para essa adutora é a de 25 mm, uma vez que não ocorrem os problemas de sobrepressão secundária que ocorrem próximos ao reservatório de jusante, conforme pode ser observado na Fig. 4. A válvula de alívio, em todas as simulações, não interferiu nas envoltórias de subpressão.

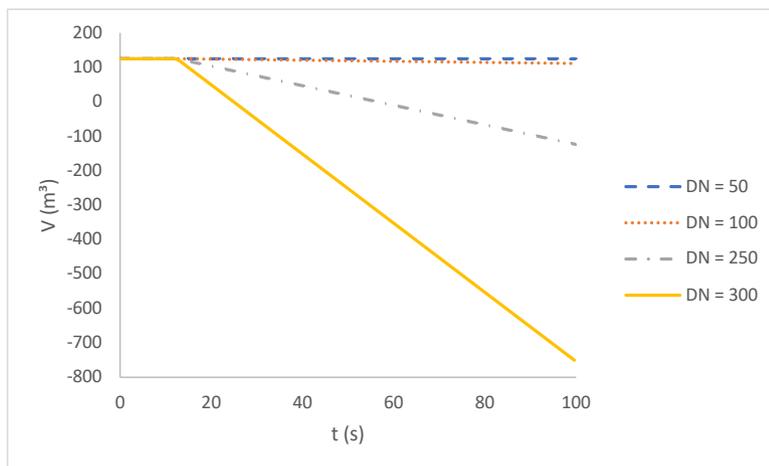


**Figura 4** - Comparação das envoltórias máximas na Adutora 1 para os DN de 25 mm e 50 mm da válvula de alívio e para a situação sem válvula de alívio.

### 3.2 Adutora 2

Para a segunda simulação deste trabalho, foram comparados os volumes disponíveis adotando-se

válvula de alívio com os DN de 50 mm, 100 mm, 250 mm e 300 mm, conforme Fig. 5.

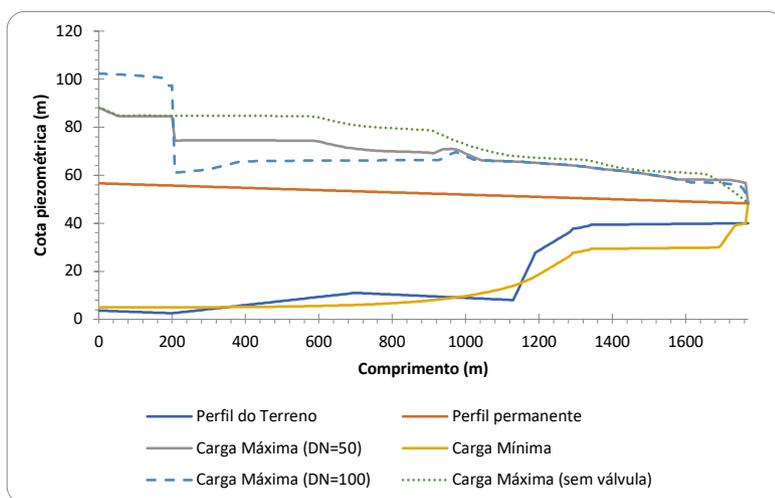


**Figura 5** - Volumes disponíveis na Adutora 2 para quatro DN de válvulas de alívio.

Para os DN de 250 mm e 300 mm, ocorre uma variação considerável de volume disponível a partir de aproximadamente 15 segundos após a parada da bomba. Os valores, então, tornam-se cada vez menores à medida que ocorre a simulação e chegam a se tornar negativos, o que não acontece na prática.

Para os DN de 50 mm e 100 mm, praticamente não ocorrem diferenças de volumes disponíveis

na tubulação ao longo do tempo. Entretanto, em termos de envoltórias obtidas, observa-se que a válvula de 50 mm é aquela considerada ideal para evitar os problemas de sobrepressão secundárias que ocorrem a montante da válvula de alívio, conforme Fig. 6. A válvula de alívio não interferiu nas envoltórias de subpressões em nenhuma das simulações.

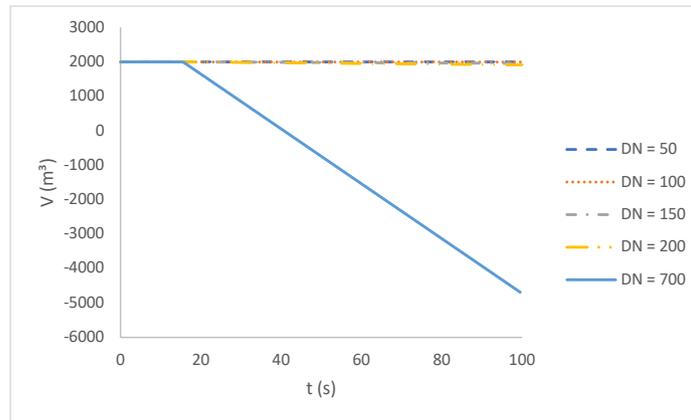


**Figura 6** - Comparação das envoltórias máximas na Adutora 2 para os DN de 50mm e 100 mm da válvula de alívio e para a situação sem válvula de alívio.

### 3.3 Adutora 3

A terceira simulação deste trabalho foi realizada com comparação dos volumes disponíveis após

a inserção de válvulas de alívio com os DN de 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm e 700 mm, gerando a Fig. 7.

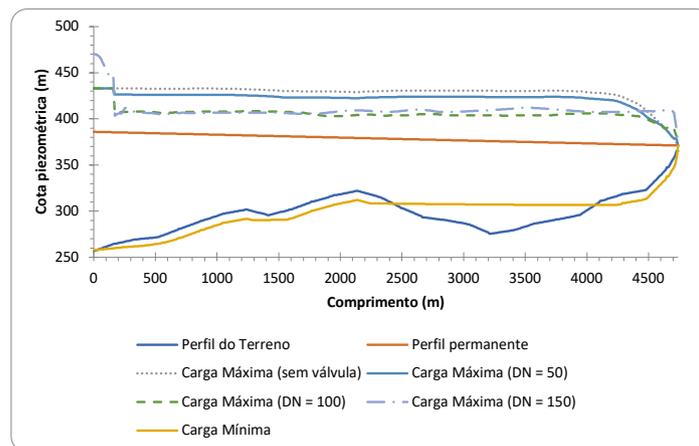


**Figura 7** - Volumes disponíveis na Adutora 3 para variados DN de válvulas de alívio.

Pelo fato de a Adutora 3 apresentar tubulação de 700 mm, o volume total da adutora aproxima-se de 2000 m<sup>3</sup>. Isso reflete no total de água retirado pelas válvulas de alívio, que começa a ser notável somente para diâmetros de válvula bem maiores que aqueles testados nas Adutoras 1 e 2. No caso de válvula com o DN de 700 mm, o volume disponível começa a decrescer após 18 segundos de simulação e torna-se negativo após 40 segundos, o que não ocorre *in loco*.

Em termos de envoltórias de pressão, considera-se que a válvula com o DN de 50 mm é a ideal

para essa adutora, pelo fato de não proporcionar sobrepressões devido ao fechamento brusco do orifício extravasor. Para a válvula de DN de 100 mm, ocorrem sobrepressões próximas ao reservatório de jusante. Para as válvulas acima desse valor, as sobrepressões foram observadas a montante da válvula de alívio. Uma outra possibilidade de ocorrer este problema de sobrepressões, no caso da Adutora 3, é o fato de ela apresentar uma vazão inicial maior que as demais simuladas. A Fig. 8 ilustra as envoltórias obtidas.



**Figura 8** - Comparação das envoltórias máximas na Adutora 3 para os DN de 50 mm, 100 mm e 150 mm da válvula de alívio e para a situação sem válvula de alívio.

### 3.4 Proposição de equação para pré-dimensionamento da válvula de alívio

Para além dos três casos demonstrados nos itens anteriores, oito adutoras distintas foram simuladas. De forma semelhante à demonstrada

previamente, a válvula de alívio ideal para cada situação foi selecionada. Para acoplar todos os resultados obtidos, foi gerada a Tabela 2, em que  $\Delta z$  representa a diferença de cotas entre o primeiro e último pontos de cada adutora.

**Tabela 2** - Escolha da válvula de alívio para cada adutora testada.

Adutora testada	DN adutora (mm)	DN válvula (mm)	$L_{total}$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\frac{\Delta z}{L_{total}}$
Adutora da Bacia Leiteira Alagoas DIM-AAB	700	50	4.740,00	108,67	0,023
Adutora PD	500	50	9.356,93	66,03	0,007
Entrada EE1-RA – UFC62	500	50	3.980,00	129,00	0,032
Adutora Alto Serto Alagoas – AAT-2.1	450	50	3.720,00	66,00	0,018
Alto Teste	450	50	3.701,70	64,78	0,018
Adutora Cuiá	300	50	1.770,00	36,39	0,021
Pedra Redonda – AAT-1B_EE	250	32	2.100,00	60,80	0,029
Nova Entrada EE5-EE6 – UFC6 – Ctran	200	40	1.580,00	113,05	0,072
Adutora com ferro	150	25	11.300,00	104,50	0,009
Adutora Alcântara	150	25	676,04	14,28	0,021
Pedra Redonda AAT-5.2B EE	100	25	5.020,00	79,40	0,016
Celeridade estimada (m/s)	1.279,80	362,10	978,13		
Pressão de Abertura da Válvula (mca)	180,00	60,00	140,00		

Empiricamente, foram testadas algumas combinações de variáveis que pudessem resultar em uma equação que permitisse que o UFC 7 automaticamente indicasse para o usuário a válvula de alívio que não cause os problemas numéricos relatados neste trabalho. A relação que cumpriu esse propósito é a Eq. 5, obtida por meio de regressão linear simples entre os parâmetros  $\frac{\Delta z}{L_{total}}$  e  $DN_{válvula}$ .

Para  $D_{Nadutora} > 250$  mm  $\rightarrow DN_{válvula} = 50$  mm

Para  $D_{Nadutora} \leq 250$  mm  $\rightarrow DN_{válvula} = 258,82 \cdot \frac{\Delta z}{L_{total}} + 24,807$  (5)

Com o valor obtido com a equação para DN menor que 250 mm, o algoritmo desenvolvido atribui o valor de DN para o menor valor comercial mais próximo, dentro da lista de diâmetros de válvula de alívio existente na biblioteca do UFC 7.

## 4 CONCLUSÕES

As simulações realizadas neste trabalho demonstram que o pré-dimensionamento que proporciona a escolha da válvula de alívio para proteção da bomba e das tubulações deve ser realizado com precaução. A equação sugerida para esse pré-dimensionamento foi obtida de forma empírica e advém de testes realizados a partir das variáveis consideradas para a simulação do transiente hidráulico. Para as adutoras testadas, essa equação se ajustou e atendeu ao propósito de seleção da válvula que simultaneamente cumpriu a função de alívio de sobrepensões, mas que não gerasse sobrepensões secundárias devido ao fechamento brusco do orifício de extravasão. Infere-se, entretanto, que devem ser feitas simulações com dados distintos dos aqui testados para de fato averiguar se a equação proposta cumpre a função pretendida.

Em todas as adutoras testadas, pelo fato de a válvula de alívio obedecer à equação da vazão através do orifício, a partir de determinado diâmetro ocorrem problemas de esvaziamento excessivo da água existente inicialmente nas tubulações e, em alguns casos, esse volume se torna negativo, gerando um erro conceitual. Isso destaca, novamente, a importância do pré-dimensionamento adequado para cada caso, pois, de outra forma, a válvula de alívio não conseguirá cumprir a sua função de proteção contra o golpe de aríete.

## 5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio e financiamento desta pesquisa. Ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental e ao Laboratório de Hidráulica Computacional (LAHC), pelo suporte técnico.

## 6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**Resumo:** Teixeira LFC; **Introdução:** Teixeira LFC; **Materiais e Métodos:** Teixeira LFC, Neto JPS, Sanders Neto VC e Paiva BA; **Resultados e Discussões:** Teixeira LFC, Neto JPS, Sanders Neto VC e Paiva BA; **Conclusões:** Teixeira LFC; **Redação – Primeira versão:** Teixeira LFC; **Redação – Revisão & Edição:** Neto JPS, Sanders Neto VC, Paiva BA, Barbosa JMC e Castro MAH; **Infraestrutura:** Castro MAH.

## 7 REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. M. C.; CASTRO, M. A. H. de. Modelagem computacional da válvula antecipadora de onda como mecanismo de alívio para o

golpe de aríete. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 2, p. 101-114, 2014. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n2.p101-114>.

BELL, C.; MOTTAGHI-TABAR, S.; MACFARLAN, K.; QUIROGA, V. Relief valve opening characteristic curves now supported in the Symmetry\* process software platform. *Schlumberger*, 2020.

CHAUDHRY, M. H. *Applied Hydraulic Transients*. 4ª Edição, Columbia, South Carolina, USA: Springer, 2014.

FERREIRA, Fábio Eduardo Franco Rodrigues; BARBOSA, João Marcelo Costa; CASTRO, Marco Aurélio Holanda de. Modelagem computacional do Golpe de Aríete em condutos plásticos. *Revista DAE*, [S.L.], v. 64, n. 202, p. 20-31, 2016. *Revista DAE*. <https://doi.org/10.4322/dae.2015.008>.

KÖPPL, T.; FEDOSEYEV, M.; HELMING, R. Simulation of surge reduction systems using dimensionally reduced models. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 145, n. 1, p. 04018079, 2019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001553](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001553).

LYU, J.; ZHANG, J.; WANG, X.; XU, T. A combined water hammer protective method for optimizing the volume of the air vessel in water supply systems. *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, v. 70, n. 8, p. 1217-1230, 2021. <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.059>.

NGUYEN, D. T. *Fluid Transients in Complex Systems with Air Entrainment*. 2009. 161 f. Tese (Doutorado) – National University of Singapore, Singapore, 2009.

PAIVA, B. A.; SANDERS NETO, V. C.; BARBOSA, J. M. C.; CASTRO, M. A. H. de. Modelagem computacional do golpe de aríete em adutoras considerando a cavitação no fluido com a fração de vazão. *Revista DAE*, v. 69, n. 233, p. 217-228, 2021. <https://doi.org/10.36659/dae.2021.088>.

SANDERS NETO, V. C.; BARBOSA, J. M. C.; CASTRO, M. A. H. de. Análise do efeito do golpe de aríete numa adutora com uma junção de ramificação. *Revista DAE*, v. 68, n. 225, p. 135-148, 2020. <https://doi.org/10.36659/dae.2020.058>.

TEIXEIRA, Lucas Florêncio da Cunha; SANDERS NETO, Vicente de Castro; PAIVA, Bruno Araújo; BARBOSA, João Marcelo Costa; CASTRO, Marco Aurélio Holanda de. Efeito da entrada superior em reservatórios de jusante durante transitório hidráulico em adutoras de distribuição de água. *Revista DAE*, [S.L.], v. 70, n. 237, p. 6-18, 5 jul. 2022. *Revista DAE*. <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2022.047>.