

Análise das pressões mínimas de uma rede de fertirrigação por meio de um algoritmo de busca aleatória

Minimum pressures analysis of a fertigation network through a random search algorithm



- **Data de entrada:** 12/08/2022
- **Data de aprovação:** 06/09/2022

José Paulo da Silveira Neto^{1*} | Lucas Florêncio da Cunha Teixeira¹ | Marco Aurélio Holanda de Castro¹ | Danilo José Fanelli Luchiari²

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.053>

ORCID ID

Silveira Neto JP  <https://orcid.org/0000-0002-4392-4102>
Teixeira LFC  <https://orcid.org/0000-0002-7964-4970>

Castro MAH  <https://orcid.org/0000-0001-5134-7213>
Luchiari DJF  <https://orcid.org/0000-0001-6879-7632>

Resumo

Em uma rede de fertirrigação, a aspersão é realizada através de cem hidrantes do tipo carretel. Operacionalmente, podem ser acionados simultaneamente no máximo quatro hidrantes em toda a rede. O foco deste trabalho foi averiguar se os pontos de consumo atendem aos requisitos mínimos de pressão e vazão, dadas as milhares de combinações possíveis do conjunto de hidrantes. Foi desenvolvido um algoritmo de busca aleatória que possibilitou a otimização da identificação da pressão mínima possível na rede, em regime permanente, e da posição dos hidrantes que ocasionaram essa situação. Em seguida, a rede foi dividida em dez adutoras para simulação do transitório hidráulico. Foram verificadas pressões negativas em muitos trechos da rede, e foram previstas 14 ventosas tríplice função. Apesar de as ventosas reduzirem os picos de subpressão, elas não foram capazes de resolver definitivamente o problema das pressões negativas, havendo a necessidade de dispositivos de proteção complementares.

Palavras-chave: Fertirrigação. Pressão mínima. Busca aleatória. Ventosas tríplice função.

Abstract

In a fertigation network, sprinkling is done through one hundred hydrants reel-like. Operationally, four of them can be activated simultaneously throughout the entire network. This paper is focused on evaluating whether the consumption points meet the minimum requirements of pressure and flow rate, given the thousands of possible combinations from the set of hydrants. A random search algorithm was developed, which made it possible to optimize the identification of minimum pressure in the network, on steady-state condition, and also the position of the hydrants that caused this situation. Negative pressures were identified in many network branches, so 14 combination air valves were suggested. Although the air valves reduced the underpressure peaks, they couldn't definitely solve the minimum pressures' problem, so complementary protection devices are needed.

Keywords: Fertigation. Minimum pressure. Random search. Combination air valves.

¹ Universidade Federal do Ceará (Campus Pici) - Fortaleza - Ceará - Brasil.

² Brasil Ambiental LTDA - São Paulo - São Paulo - Brasil.

*Autor correspondente: js_silveirant@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Redes de irrigação são uma tecnologia imprescindível para o aumento da produção de bens agrícolas, garantindo a produção em relação às necessidades hídricas e reduzindo o risco de quebra das safras devido a secas e, dessa forma, promovendo maior produtividade das culturas agrícolas (TESTEZLAF, 2017; CHAND et al., 2021).

Os sistemas utilizados podem ser do tipo gravitatório ou mecanizado, com o uso de conjunto moto-bomba e hidrantes ou gotejadores, por exemplo. Nos casos em que o terreno a ser irrigado é bastante irregular em termos topográficos, é mais conveniente optar pelo sistema mecanizado. Entretanto, um problema a ser enfrentado por esse tipo de sistema é a necessidade de garantia de pressão suficiente nas tubulações da rede com um grande número de pontos a serem atendidos e a possibilidade de variação dos pontos usados simultaneamente (ČISTÝ; BAJTEK; BECOVÁ, 2014).

Este trabalho é focado na análise de uma rede de fertirrigação presente no município de Bebedouro, São Paulo, de forma a verificar se os pontos de utilização possuem a pressão e a vazão mínimas requeridas. Diferentemente de uma rede de distribuição de água, em que praticamente todos os nós da rede são utilizados simultaneamente,

uma rede de irrigação utiliza um ou alguns pontos (VILLA; PRATS, 2012). O método de verificação adotado foi um algoritmo de busca por meio do acionamento de pontos aleatórios da rede de forma a determinar quais hidrantes, quando acionados, provocam as situações de menores pressões (PRATS et al., 2012).

Além disso, também foi realizada uma análise voltada para o regime transiente por meio do desligamento das bombas, em que foram simulados alguns segmentos da rede em forma de adutoras e, posteriormente, foram propostos dispositivos para a proteção contra o golpe de aríete. As análises foram realizadas com o uso do Sistema UFC, módulos 2, 3, 5 e 7, assim como com o uso do EPANET.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a uma fazenda de cultivo de cana-de-açúcar localizada no município de Bebedouro, no estado de São Paulo. A área fertirrigada é de 310,21 ha e a irrigação ocorre por aspersão, a partir de hidrantes do tipo carretel (Fig. 1), com tempo de funcionamento de 20 h/dia.



Figura 1 - Hidrante carretel aspergindo água sobre a lavoura de cana-de-açúcar.

A rede de fertirrigação é constituída por um sistema de bombeamento formado por um conjunto de seis bombas, dispostas em três conjuntos em paralelo, cada conjunto formado por duas bombas em série. O sistema de bombeamento

recalca água de uma lagoa e distribui para um total de cem hidrantes carretéis, dispostos ao longo de um conjunto de tubulações de PRFV de DN 350 mm, 250 mm, 200 mm e 150 mm, conforme Fig. 2.

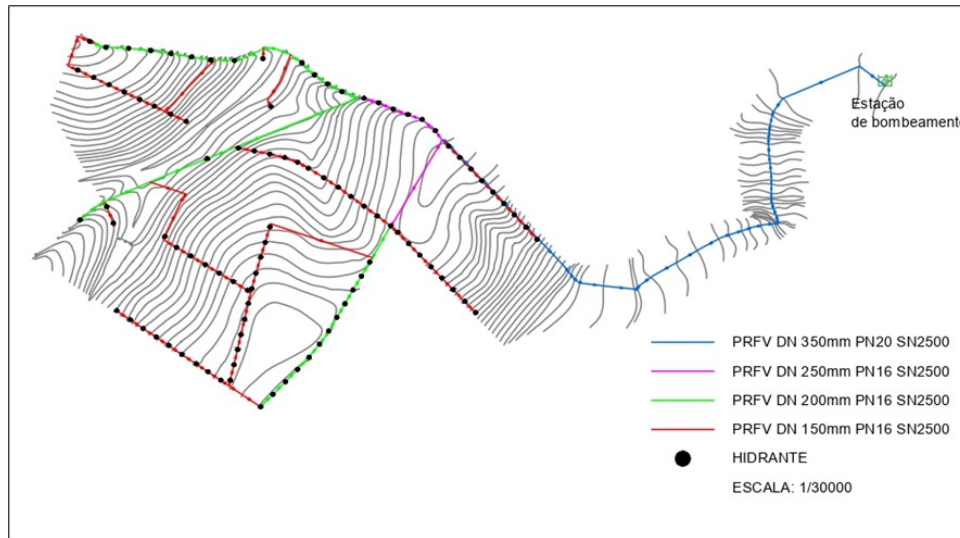


Figura 2 - Projeto da rede de fertirrigação, em planta.

São sete hidrantes na tubulação de 250 mm; vinte e cinco hidrantes na tubulação de 200 mm; e sessenta e oito hidrantes na tubulação de 150 mm. A condição operacional do sistema impõe que funcionem, simultaneamente, dois hidrantes nos trechos de 250 mm, um hidrante nos trechos de 200 mm e um hidrante nos trechos de 150 mm. Cada hidrante apresenta uma vazão média de 36,8 L/s, requerendo pressão mínima de 92 mca.

O nível d'água do manancial foi definido na cota 562,50 m, e as bombas foram locadas 2 m abaixo, na cota 560,50 m. Para cada conjunto de duas bombas em série, foi obtida uma curva característica, conforme Porto (2006). Dessa maneira, no modelo foram inseridas três bombas em paralelo; cada uma dessas bombas, de 1.750 rpm de rotação, representa duas bombas em série.

2.2 Determinação da pressão mínima em regime permanente

A Fig. 3 apresenta um fluxograma com as etapas realizadas nesse processo. Com o auxílio do programa UFC2, desenvolvido pelo Laboratório de Hidráulica Computacional (LAHC), da Universidade Federal do Ceará (UFC), a rede de fertirrigação foi traçada, conforme Fig. 2. As cotas dos nós foram calculadas por interpolação das curvas de nível; na localização de cada hidrante, foi inserida uma demanda especial, com consumo nulo.

Os hidrantes nos trechos de 250 mm foram numerados de 1 a 7; dos trechos de 200 mm, de 8 a 32; e dos trechos de 150 mm, de 33 a 100. Para a determinação da configuração que resultasse na menor pressão global em um hidrante da rede, seriam 35.700 possíveis combinações de quatro hidrantes a serem verificadas.

Para otimizar essa tarefa, foi desenvolvido um algoritmo de busca aleatória que gerou um conjunto de mil chaves de quatro números inteiros: dois deles no intervalo de 1 a 7 (sem repeti-los), um no intervalo de 8 a 32, e um no intervalo de 33 a 100. Para cada combinação, o algoritmo atribuiu o consumo de 36,8 L/s aos quatro pontos de demanda espacial selecionados, e a rede foi exportada para o EPANET, no qual foi simulada.

Os resultados das pressões nos hidrantes foram armazenados e foram determinadas as vinte

situações mais críticas quanto à pressão mínima nos hidrantes. Verificou-se um padrão de combinações dentre esses vinte resultados, e novos intervalos de busca foram definidos. Para a tubulação de 200 mm, reduziu-se o intervalo para números entre 22 e 28; e para a tubulação de 150 mm, intervalo de 90 a 100. Foram testadas as 1.617 combinações possíveis, até que se encontrou a configuração que resultou na menor pressão possível em um hidrante, em regime permanente.

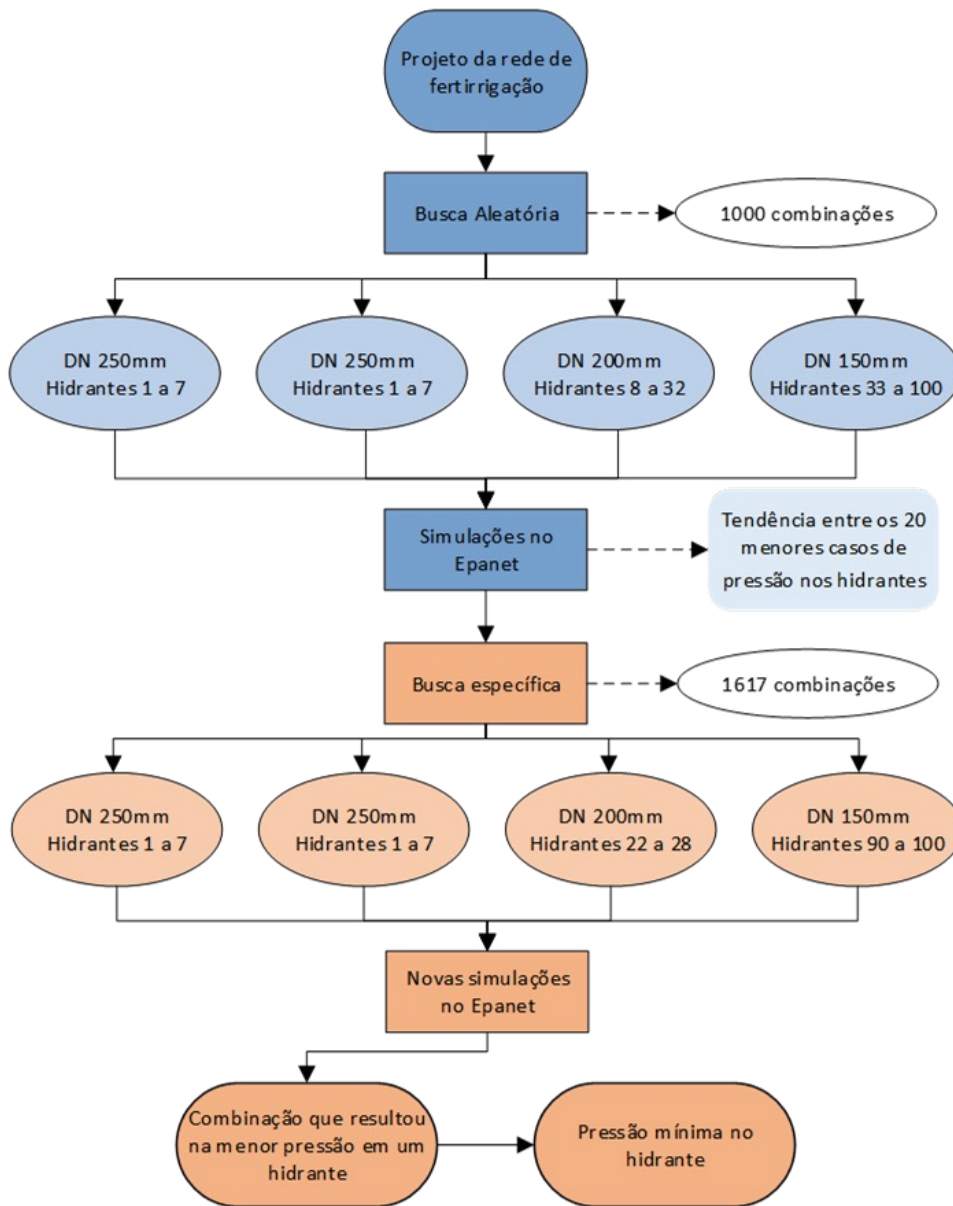


Figura 3 - Fluxograma das etapas para determinação da menor pressão possível em um hidrante, em regime permanente.

2.3 Regime Transiente

Para a simulação do transitório hidráulico, a rede de fertirrigação foi dividida em dez adutoras, simulando os possíveis caminhos do fluxo da água. Cada uma das adutoras iniciou na estação de bombeamento; o final foi definido por um hidrante.

Para cada adutora, foi executado o algoritmo de busca aleatória (com um número reduzido de combinações), para determinar a configuração de hidrantes que resultasse na menor pressão em um hidrante posicionado ao longo da adutora. O foco foi na pressão mínima, pois verificou-se que as situações críticas no transitório hidráulico estavam relacionadas a pressões negativas na rede (GHORBANIAN; KARNEY; GUO, 2015).

O processo de conversão da rede em adutora foi feito a partir do UFC2. O programa converte a vazão dos trechos que não pertencem à adutora em demanda especial (DER) nos nós onde ocorre ramificação. No final da adutora, foi inserido um reservatório de nível variável fictício. O nível d'água inicial desse reservatório correspondeu à pressão daquele nó quando a rede foi simulada no EPANET.

Foi utilizado o programa UFC5 para encontrar o ponto de trabalho das bombas. Em seguida, as adutoras foram exportadas para o programa UFC7 (SANDERS NETO; BARBOSA; CASTRO, 2020; PAIVA et al., 2021; TEIXEIRA et al., 2022), em que foram realizadas as simulações do transitório hidráulico pelo Método das Características (CHAUDRY, 2014; BARBOSA; CASTRO, 2014). As envoltórias de subpressão apontaram a presença de pressões negativas ao longo das adutoras.

Por um critério econômico, optou-se por utilizar ventosas de tríplex função como dispositivo de proteção das adutoras (MOGHADDAS; SAMANI; HAGHIGHI, 2017). Para pressões negativas su-

periores a -30 mca, foram adotadas ventosas de tríplex função do tipo non-slam; para pressões negativas inferiores a -30 mca, foram adotadas ventosas do tipo quebra-vácuo acopladas com tríplex função (TASCA; LUVIZOTTO JUNIOR; DALFRÉ FILHO, 2019). Foram realizadas novas simulações, agora com as ventosas devidamente posicionadas.

As envoltórias de sobrepressão coincidiram com as linhas piezométricas em regime permanente, na maior parte do comprimento das adutoras. Apenas nos trechos finais foram verificadas sobrepressões.

Ao final, os resultados de cada uma das dez adutoras foram compatibilizados de modo a agregar os trechos para formarem novamente a rede de fertirrigação.

3 RESULTADOS

3.1 Pressão Mínima no Hidrante

A configuração da posição dos quatro hidrantes em operação simultânea que resultou na pressão mínima global em um hidrante é apresentada na Fig. 4. Foram definidos os hidrantes relacionados às posições 4 e 5, na tubulação de 250 mm; 23, na tubulação de 200 mm; e 99 na tubulação de 150 mm. A pressão mínima foi observada no hidrante 99, representado por um ponto vermelho. Os outros três hidrantes foram destacados por pontos azuis. O valor da pressão mínima foi de 98,45 mca, atendendo ao requisito mínimo de pressão (92 mca).

No canto inferior direito da Fig. 4 é apresentado um gráfico de isolinhas de pressão na rede, resultante da simulação no Epanet. A menor zona de pressão localiza-se em torno da estação de bombeamento, com pressões inferiores a

90 mca. No entanto, nas regiões onde se localizam os hidrantes, a pressão foi sempre superior a 90 mca. Dentre essas regiões onde há hidrantes

em operação, as menores pressões estão localizadas nos nós em torno do hidrante 99.

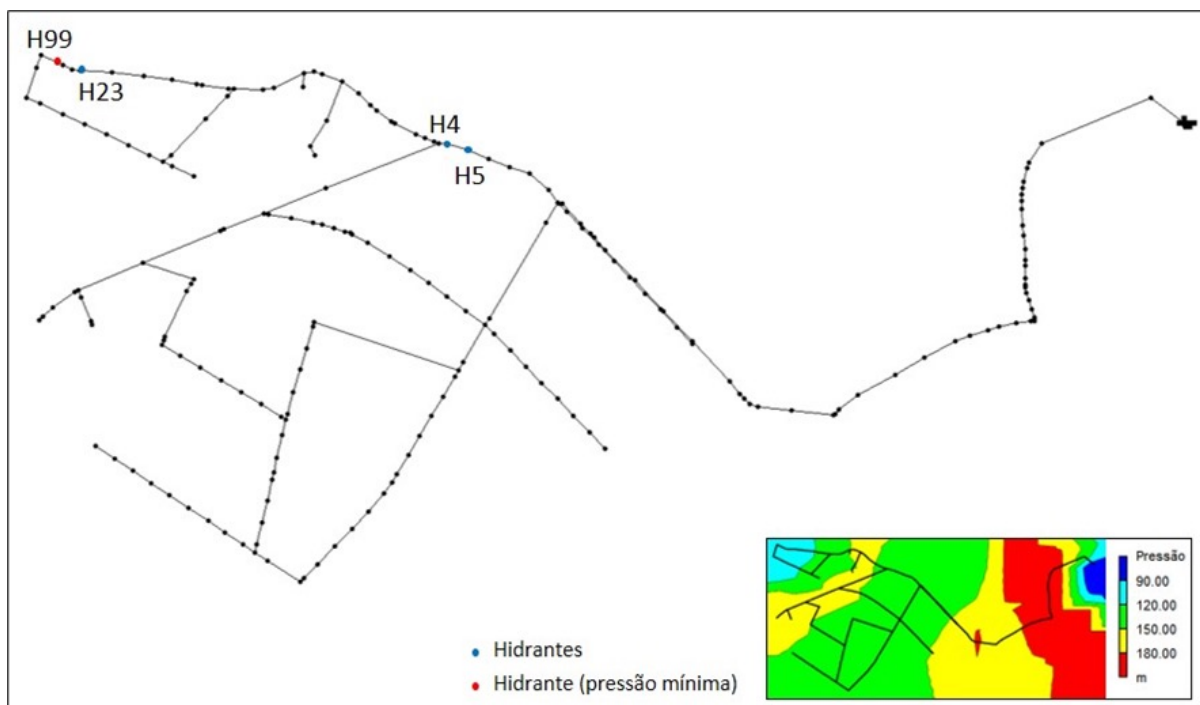


Figura 4 - Configuração da rede que gerou pressão mínima em um hidrante, e isolinhas de pressão resultantes da simulação no EPANET.

3.2 Análise do Regime Transiente

Foram traçadas dez adutoras ao longo da rede, de forma a possibilitar a simulação do transitório hidráulico no UFC 7. Os traçados percorreram toda a rede e os hidrantes em operação foram os que forneceram a situação crítica de pressão mínima em um hidrante, para cada adutora. Na Fig. 5 estão ilustradas as adutoras determinadas.

A partir das simulações do transitório, foram determinados os pontos nas adutoras onde devem

se localizar as ventosas (RAMEZANI; KARNEY, 2017; TASCA; LUVIZOTTO JUNIOR; DALFRÉ FILHO, 2019). Foi necessário realizar a simulação com ventosas para as adutoras 1, 2, 5, 6, 7, 8 e 10. As Fig. 6 a 12 demonstram os resultados obtidos das envoltórias de sobrepessão e de subpressão confrontando as situações sem dispositivo e com dispositivos de proteção contra o golpe de aríete. No total, foi sugerida a adoção de 14 ventosas, sendo 5 do tipo quebra vácuo acoplada com tríplice função (VTQB) e 9 do tipo non-slam (VTNS).

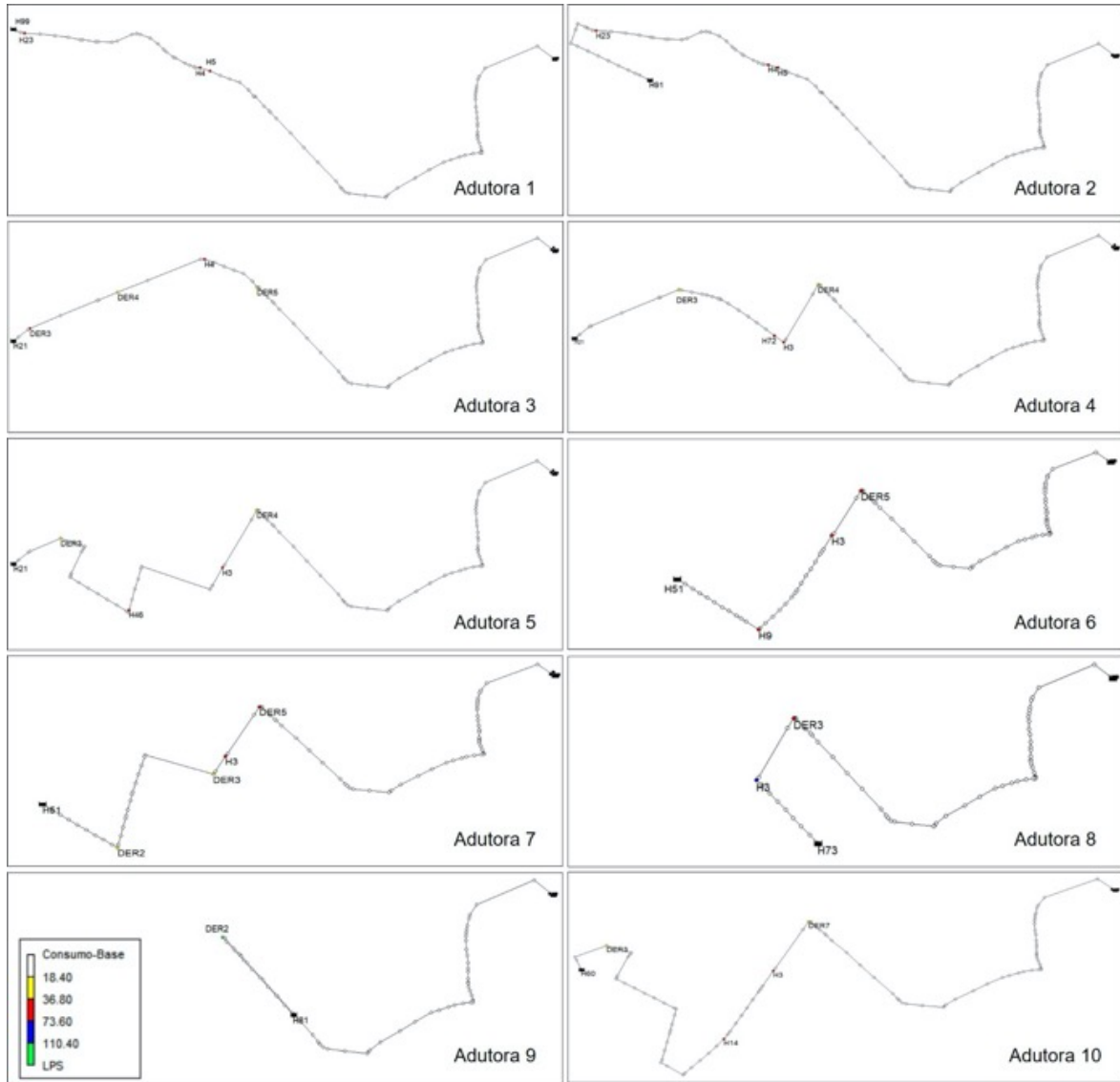


Figura 5 - Adutoras de 1 a 10.

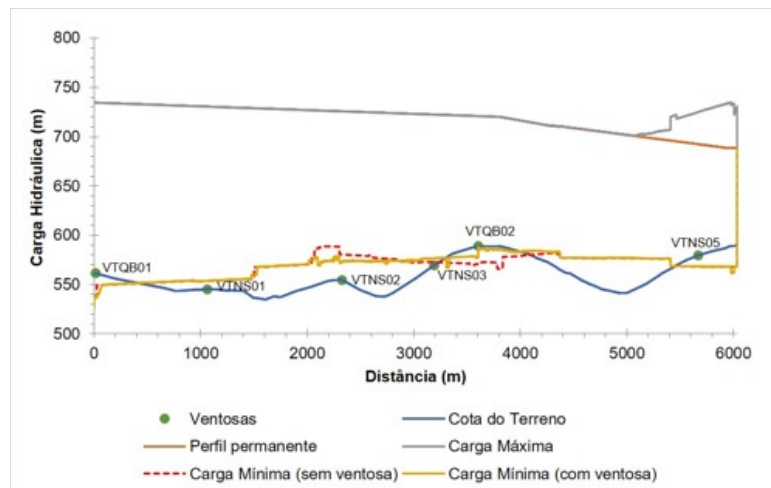


Figura 6 – Envolvórias de pressão para a adutora 1.

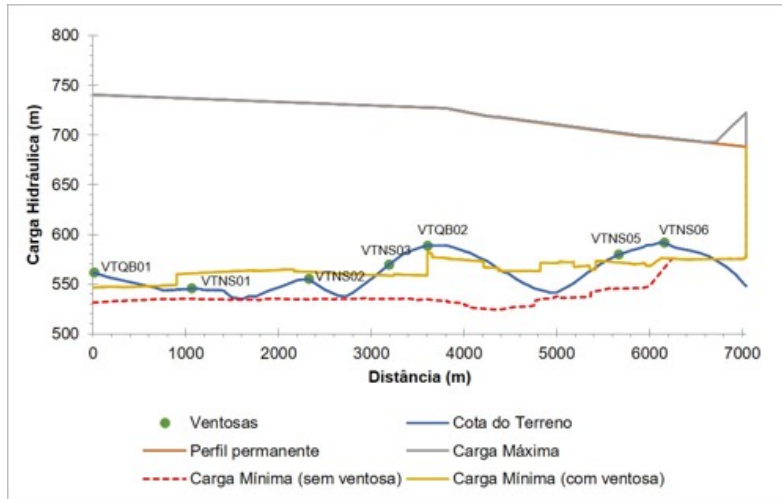


Figura 7 - Envoltórias de pressão para a adutora 2.

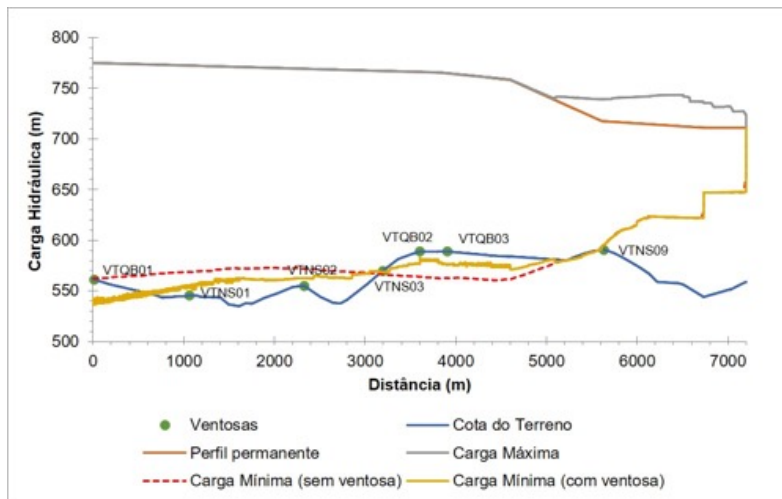


Figura 8 – Envoltórias de pressão para a adutora 5.

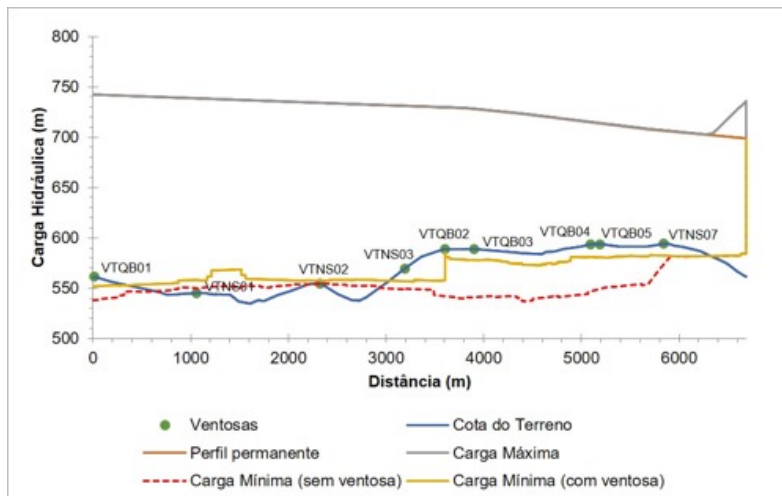


Figura 9 - Envoltórias de pressão para a adutora 6.

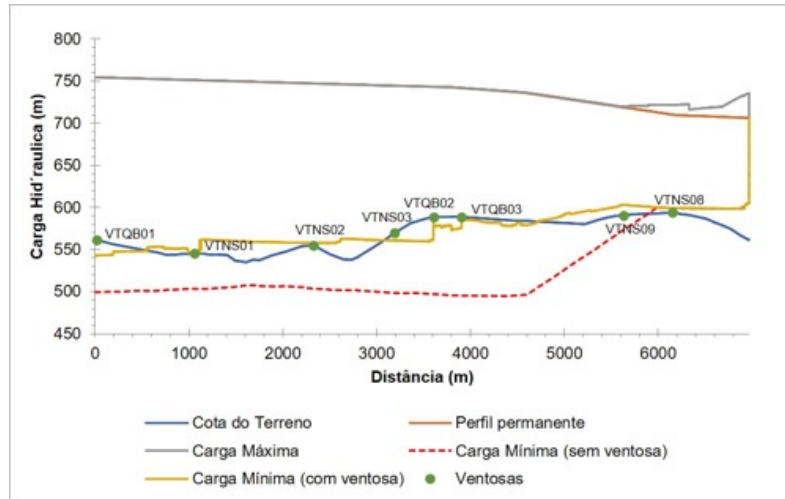


Figura 10 - Envoltórias de pressão para a adutora 7.

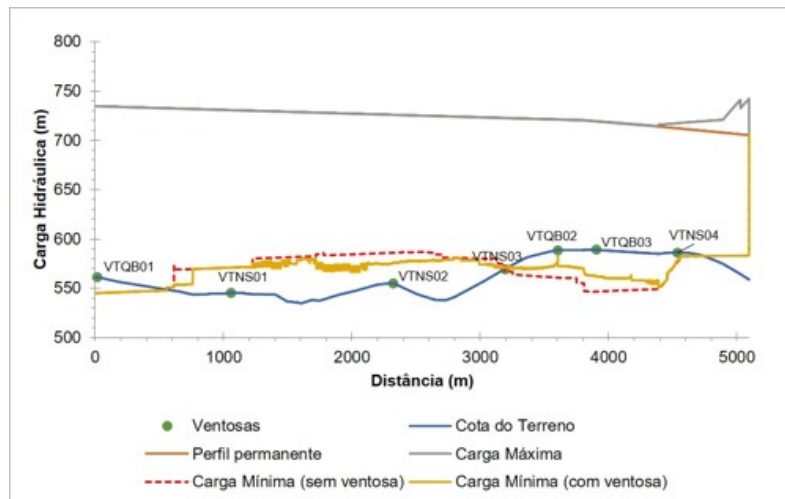


Figura 11 - Envoltórias de pressão para a adutora 8.

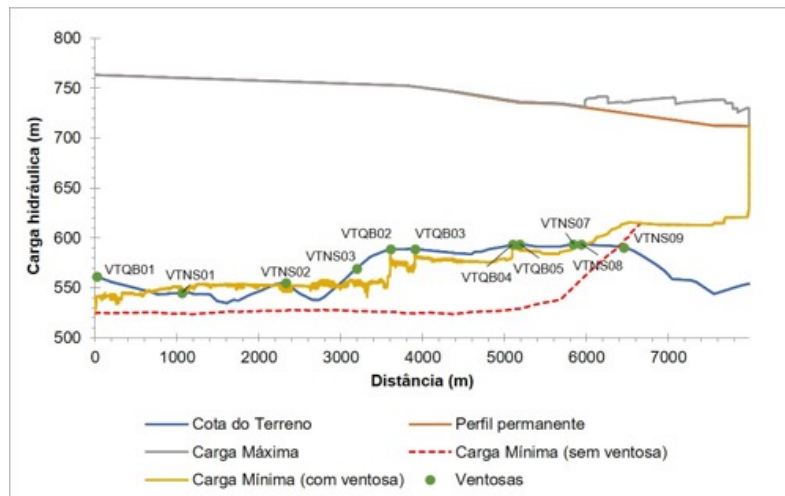


Figura 12 - Envoltórias de pressão para a adutora 10.

Na Fig. 13 estão as localizações das ventosas utilizadas nas simulações, todas com DN 100 mm.



Figura 13 - Localização das ventosas na rede de fertirrigação.

4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um algoritmo de busca aleatória possibilitou assegurar o atendimento da rede de fertirrigação analisada aos requisitos mínimos de pressão e vazão de trabalho, em regime permanente. Otimizou-se o processo de definição dos quatro hidrantes em operação simultânea que ocasionariam a pressão mínima possível em um hidrante, dentro de um universo de milhares de possibilidades, de forma assertiva. De um total de 35.700 possíveis combinações, foram realizadas apenas 2.617 simulações.

A divisão da rede de fertirrigação em adutoras se mostrou uma boa solução para simulação do transitório hidráulico em um software gratuito que calcula o transitório em adutoras. Assim, foi possível analisar individualmente cada caminho pelo qual a água poderia escoar.

A adoção de ventosas como dispositivos de proteção contra as subpressões, que em grande parte foram inferiores à pressão de vapor da água, mostrou-se capaz de amenizar os picos de pressões

mínimas; no entanto, não foi capaz de solucionar o problema por completo, havendo a necessidade da adoção de dispositivos complementares.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Resumo: Silveira Neto JP, Teixeira LFC; **Introdução:** Silveira Neto JP, Teixeira LFC; **Materiais e Métodos:** Silveira Neto JP, Teixeira LFC, Castro MAH, Luchiari DJF; **Resultados e Discussões:** Silveira Neto JP, Teixeira LFC, Castro MAH; **Conclusões:** Silveira Neto JP; **Redação – Primeira versão:** Silveira Neto JP, Teixeira LFC; **Redação – Revisão & Edição:** Castro MAH, Luchiari DJF; **Infraestrutura:** Castro MAH, Luchiari DJF.

6 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento desta pesquisa. Ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará e à Brasil Ambiental LTDA, pelo suporte técnico.

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>.
- CHAND, J. B.; HEWA, G.; HASSANLI, A.; MYERS, B. Deficit irrigation on tomato production in a greenhouse environment: a review. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 147, n. 2, p. 04020041, 2021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001529](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001529)
- CHAUDHRY, M. H. **Applied Hydraulic Transients**. 4ª Edição, Columbia, South Carolina, USA: Springer, 2014.
- ČISTÝ, M.; BAJTEK, Z.; BECOVÁ, A. Irrigation network design and reconstruction and its analysis by simulation model. **Selected Scientific Papers - Journal Of Civil Engineering**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 5-14, 1 jun. 2014. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/sspjce-2014-0001>.
- GHORBANIAN, V.; KARNEY, B. W.; GUO, Y. The link between transient surges and minimum pressure criterion in water distribution systems. **Pipelines**, p. 805-814, 2015. <https://doi.org/10.1061/9780784479360.074>
- MOGHADDAS, S. M. J.; SAMANI, H. M. V.; HAGHIGHI, A. Transient protection optimization of pipelines using air-chamber and air-inlet valves. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, p. 1991-1997, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0836-4>
- 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 vazio. **Revista DAE**, v. 69, n. 233, p. 217-228, 2021. <https://doi.org/10.36659/dae.2021.088>.
- PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. rev. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.
- PRATS, A. G.; PICÓ, S. G.; ALZAMORA, F. M.; BELLO, M. A. J. Random scenarios generation with minimum energy consumption model for sectoring optimization in pressurized irrigation networks using a simulated annealing approach. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 138, n. 7, p. 613-624, 2012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000452](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000452)
- RAMEZANI, L.; KARNEY, B. Water column separation and cavity collapse for pipelines protected with air vacuum valves: understanding the essential wave processes. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 143, n. 2, p. 04016083, 2017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001235](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001235)
- 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>.
- TASCA, E. S. A.; LUVIZOTTO JUNIOR, E.; DALFRÉ FILHO, J. G. Os perigos advindos de válvulas de ar em sistemas adutores e duas soluções eficazes testadas computacionalmente. **Revista DAE**, v. 67, n. 215, p. 5-16, 2019. <https://doi.org/10.36659/dae.2019.001>
- TEIXEIRA, L. F. C.; SANDERS NETO, V. C.; PAIVA, B. A.; BARBOSA, J. M. C.; CASTRO, M. A. H. 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>.
- TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, 2017.
- VILLA, F. G.; PRATS, A. G. Using location-allocation algorithms to distribute multioutlet hydrants in irrigation networks design. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 138, n. 4, p. 304-309, 2012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000405](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000405)