

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

A IMPORTÂNCIA DA SETORIZAÇÃO PARA A CONSERVAÇÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO

*Sabrina da Silva Corrêa ¹; Saulo de Tarso Marques Bezerra ²; Júlia Daniele Silva de Souza ¹;
Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira ¹ & Jonathan Simões Roque ³*

RESUMO – O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável tem como meta garantir, até 2030, o aumento da eficiência do uso da água em todos os setores e a redução substancial do número de pessoas que sofrem com a escassez hídrica. Para as empresas de saneamento, a setorização de redes de distribuição de água pode ser uma técnica eficaz para a melhoria do gerenciamento e da segurança dos sistemas, sendo possível o controle de perdas de água. Este artigo apresenta uma revisão de literatura sobre a importância da setorização para a conservação da água no semiárido, abordando estudos de caso realizado pela comunidade técnica e científica. Foram analisados vinte e dois estudos de caso, destacando o benefício da setorização para o controle de perdas, proteção contra contaminantes na água e eficácia em sistemas com demandas intermitentes, comum no semiárido brasileiro.

ABSTRACT – The United Nations Program for Sustainable Development aims to ensure by 2030, an increase in the efficiency of water use in all sectors and a substantial reduction in the number of people suffering from water scarcity. For water utilities, the sectorization of water distribution networks can be an effective technique for improving the management and security of systems, making it possible to control water losses. This article presents a literature review on the importance of sectorization for water conservation in the semiarid region, addressing case studies conducted by the technical and scientific community. Twenty-two case studies were analyzed, highlighting the benefit of sectorization for loss control, protection against contaminants in water and efficiency in systems with intermittent demands, common in the Brazilian semiarid.

Palavras-chave – Escassez hídrica, sistemas de abastecimento de água, perdas de água, proteção contra contaminantes.

¹ Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste. Caruaru-PE. E-mail: sabrinna_s.c@hotmail.com, juliadaniele_souza@hotmail.com, andreiazvdo92@gmail.com.

² Professor do Núcleo de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste. Caruaru-PE. E-mail: s.bezerra@yahoo.com.br.

³ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste. Caruaru-PE. E-mail: jonathansimoes1@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Frente a problemas como instalações obsoletas e escassez hídrica, a gestão eficiente dos sistemas de distribuição de água torna-se um desafio para as concessionárias (ZHANG *et al.*, 2019). Esse cenário gera perdas de água e intermitência no abastecimento que afastam da realidade a meta proposta pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) de garantir, até 2030, o aumento da eficiência do uso da água em todos os setores e a redução substancial do número de pessoas que sofrem com a escassez hídrica.

Campbell *et al.* (2016) definem a setorização como uma técnica destinada a melhorar o controle operacional do sistema de distribuição de água, incluindo, entre outros, gerenciamento de vazamentos e pressões, monitoramento da qualidade da água, agilização das atividades de reparo e definição de cronogramas de fornecimento para abastecimento de água com intermitência, que é uma situação frequente no semiárido brasileiro.

A eficácia da setorização das redes de distribuição de água para proteção contra contaminantes é outro ponto bastante discutido em trabalhos (GRAYMAN *et al.*, 2009; DI NARDO *et al.*, 2013; DI NARDO *et al.*, 2015). Grayman *et al.* (2009) destacam que os efeitos positivos da setorização da rede no controle de contaminações dependem de diversos aspectos, como, por exemplo: dimensão da rede de água, classe de poluentes, número de setores, características do incidente do contaminante, tempo de exposição, etc. Além disso, em regiões com escassez hídrica, o fornecimento intermitente de água torna-se uma alternativa e a setorização é recomendada por garantir que os cronogramas de suprimentos sejam mais facilmente estabelecidos.

Frente ao exposto, este estudo teve como objetivo analisar a setorização em redes de abastecimento de água, destacando estudos de caso reais que relacionam a influência da setorização com a redução de perdas e a proteção contra contaminantes.

2 METODOLOGIA

A seleção e o estudo dos trabalhos podem ser divididos em três etapas: coleta em plataformas de pesquisa, seleção dos trabalhos relevantes e detalhamento da premissa e abrangência do artigo. Dessa forma, foi possível obter uma análise da eficácia da setorização de redes de distribuição de água, analisando e discutindo suas limitações e impactos na conservação da água.

Na primeira etapa, as palavras-chave “*district metering area*” e “*sectorization of water distribution network*” foram utilizadas através do Portal Periódicos Capes, e “setorização de redes de distribuição de água” na plataforma Google Acadêmico. Na etapa seguinte, avaliou-se a relevância de cada um dos trabalhos, separando-os nos dois seguintes campos de estudo: 1. Setorização no controle de perdas de água e; 2. Setorização na proteção contra contaminantes na água.

Assim, dos 30 artigos encontrados nas plataformas de pesquisa, apenas 21 foram considerados relevantes para o campo de análise. Por fim, cada um dos 21 artigos, foi descrito e classificado de acordo com o foco do estudo e, através do *software* CiteSpace, foi possível identificar os principais autores e referências pela frequência de citações e grau de centralidade.

3 ESTADO DA ARTE

3.1 Controle de Perdas de Água

Atualmente, é uma prática comum para as concessionárias de água dividir as redes de distribuição de água (RDA) em Distritos de Medição e Controle (DMC). Essa estrutura facilita a implantação de medidas para o gerenciamento de pressão, visando a minimização de perdas de água reais no sistema (ULANICKI *et al.*, 2008; MOTTA, 2010; BABIC *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2014; VO *et al.*, 2018; BERARDI *et al.*, 2019), também agiliza a identificação e localização de perdas através da identificação da mínima vazão noturna (BABIC *et al.*, 2014; MOURA, 2017; SOARES *et al.*, 2017), e facilita a operação por meio de sistemas SCADA (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados), proporcionando um gerenciamento mais confiável e simplificado da rede (CHARALAMBOUS, 2005; MACDONALD e YATES, 2005; SOARES *et al.*, 2017).

Charalambous (2005) investigou os benefícios da setorização de redes em Limassol, Chipre. O dimensionamento dos DMCs foi baseado em fatores proposto pela *Water Loss Task Force* (2004), resultando em distritos isolados com um único ponto de alimentação. A setorização possibilitou a redução de 38,1% das perdas relacionadas com a redução de pressão, e redução de 38,8% dos vazamentos localizáveis, devido à agilidade dos operadores.

Do mesmo modo, Macdonald e Yates (2005) e Soares *et al.* (2017) analisaram a setorização de redes de distribuição de água com o apoio do SCADA. Macdonald e Yates (2005) realizaram um estudo de caso em Halifax, Canadá. Dessa forma, obteve-se uma redução do *Infrastructure Leakage Index* (ILI), índice que relaciona as perdas reais anuais evitáveis com as inevitáveis da rede, em

58%. Enquanto no Brasil, Soares *et al.* (2017) investigaram a atuação de DMCs em uma RDA de Florianópolis/SC, operada pela CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento). Após a implantação dos DMCs, foi possível identificar a ocorrência de vazamentos de maneira mais ágil, permitindo a redução do volume de perdas reais.

Li *et al.* (2011) desenvolveram um sistema integrado para detecção e controle de vazamentos em tubulações através de uma plataforma GIS para o gerenciamento de uma RDA em Beijing, China. A setorização da rede possibilitou que a tecnologia desenvolvida na plataforma GIS permitisse o monitoramento integrado de perdas de água e identificasse vários vazamentos de fácil e difícil localização, apresentando uma economia de aproximadamente 2.500.000 m³ de água em um ano. Mais tarde, Xu *et al.* (2014) continuaram a investigação em um DMC de Beijing, investigando a relação pressão-vazamento. A análise indicou uma redução das perdas reais do setor de 46,5 % para 14,2%, sem afetar significativamente o uso dos consumidores.

A setorização também permite a localização e operação ideal das válvulas redutoras de pressão (VRPs). Ulanicki *et al.* (2008) apresentaram um método geral de cálculo dos cronogramas de ponto de ajuste de VRP para atuarem em DMCs, levando em consideração vazamentos dependentes da pressão. O modelo foi aplicado em DMCs em North Yorkshire, Reino Unido. A partir da otimização, foi verificado que a redução de vazamento pode chegar a 45%.

Motta (2010) também investigou a eficácia das VRPs em na RDA Ermelino Matarazzo, São Paulo, e na RDA Fonte, Araraquara. Na RDA Ermelino, implantaram-se DMCs controlados por VRPs obtendo-se reduções significativas na vazão fornecida à distribuição. Na RDA Fonte, foram realizados estudos para reformulação da setorização existente e subdivisão em DMCs, sendo suficiente para o controle de pressão e consequentemente redução de perdas.

Babic *et al.* (2014) realizaram um estudo de caso no DMC Kotez, Sérvia, instalando uma VRP de saída fixa na tubulação de entrada do distrito. Os resultados obtidos mostram claramente uma influência significativa da redução de pressão na entrada do DMC, ou seja, redução de perdas de água (vazamento) e consumo de água, obtendo a redução de 927 m³/d. E Vo *et al* (2018) analisaram a setorização no sistema de abastecimento de água de Phan Rang, Vietnã. A partir da análise dos medidores de vazão, foi possível identificar facilmente a localização do vazamento de água, tornando mais ágil a identificação do local de instalação da VRP.

Berardi *et al.* (2019) propuseram uma metodologia integrada para a redução de perdas de água, integrando o projeto ótimo de DMCs com a localização ideal das VRPs. O estudo aplica o método na rede de distribuição de água da Itália, e converge para uma solução ótima configurada pela maior redução de vazamento e pelo número mínimo de medidores de vazão, ou seja, a solução apresenta custos reduzidos de instalação, além de um balanço hídrico mais confiável.

Santos e Montenegro (2014) avaliaram uma metodologia mais ampla com o programa de redução de perdas em Recife, Pernambuco. A implementação das ações necessárias é baseada na localização precisa de vazamentos através de geofones eletrônicos, rapidez nos reparos, controle da pressão a partir da instalação de VRPs e monitoramento ativo do balanço hídrico no setor. Os resultados obtidos foram excelentes, pois obteve-se uma redução de aproximadamente 83.066 m³ de água por mês e a partir de uma projeção de 10 anos, verificou-se que somente no primeiro ano o custo de implantação seria maior que o retorno.

A maioria dos projetos de setorização de redes foram realizadas através de análises visuais de topologia, não levando em consideração análises hidráulicas aprofundadas. Há diversos pesquisadores que propõem o projeto ótimo de DMCs. Gomes *et al.* (2012) analisaram uma nova abordagem para dividir grandes redes de distribuição de água em DMCs. Concluíram que os distritos, do ponto de entrada único, são frequentemente preferidos porque são mais fáceis de implementar e mais simples de gerenciar. O monitoramento do fluxo de DMCs permitiu a quantificação da perda de água e forneceu informações para priorizar os esforços ativos para controlar o vazamento, guiando as autoridades para as piores partes da rede.

Savic e Ferrari (2014) analisaram as possíveis soluções de DMCs obtidas a partir da metodologia proposta por Ferrari *et al.* (2014). Os resultados obtidos apresentaram uma diminuição insignificante em relação à qualidade da água e confiabilidade, mostrando-se eficaz em termos de redução de vazamentos, controle e gerenciamento da rede, sem representar uma redução na qualidade do serviço para os consumidores. Em seguida, Ferrari e Savic (2015) concluíram que quanto maior o número de DMCs menor é a redução de vazamento. Portanto, é recomendável que, ao criar um número elevado de DMCs, seja implementado um esquema de gerenciamento de pressão apropriado para reduzir a pressão na rede.

Gomes *et al.* (2014) comprovaram que a setorização é método eficaz e seguro de otimização no gerenciamento de um sistema de abastecimento de água ao longo de um grande período. Os

pesquisadores investigaram um método para avaliar a melhoria da eficiência da rede após a setorização na comunidade de Madri, Espanha. Essa metodologia pode ser útil para os tomadores de decisão, identificando a taxa de vulnerabilidade e os custos de projetos alternativos de setorização.

Jitong e Jothityangkoon (2017) utilizaram o método de setorização proposto por Laucelli *et al* (2016) e Di nardo *et al* (2014) na rede Lop Buri Branch, localizada na Tailândia. Obtiveram resultados bastante satisfatórios, pois ocorreu uma diminuição no vazamento em cerca de 7%, representando uma economia considerável para a companhia de abastecimento.

E ainda, no município de São Leopoldo-RS, Melo e Prestes (2018) mostraram que a setorização pode ser a solução para a redução de perdas de água e para a melhoria da eficiência energética. A partir do estudo de caso analisado, notou-se a redução das perdas físicas através da redução no tempo de reparo dos vazamentos, e a redução da pressão média de abastecimento contribuiu para a diminuição da incidência de vazamentos. Além disso, a condição de pleno abastecimento foi alcançada.

3.2 Proteção Contra Contaminantes

As redes de distribuição de água estão sujeitas a dois tipos de contaminações: contaminação acidental e contaminação intencional. A contaminação acidental está relacionada às estações defeituosas de cloro, quebras de tubulações e reparos de vazamentos, enquanto a contaminação intencional refere-se a ataques maliciosos representados pela introdução intencional de um contaminante na tubulação da rede (DI NARDO *et al.*, 2015).

Estudos anteriores concentraram-se na capacidade de sensores comuns para detectar mudanças visíveis na qualidade da água quando um contaminante está presente. Essas técnicas são muito úteis para o desenvolvimento de sistemas de alerta precoce, mas não são tão eficazes na avaliação do impacto das ações a serem tomadas para garantir a segurança dos usuários. Diante disso, pesquisadores sugerem a setorização como melhor alternativa para proteção contra contaminantes na água.

Grayman *et al* (2009), ao realizarem um estudo de caso nos EUA, comprovaram que melhorias significativas na segurança da RDA podem ser alcançadas sem impactar significativamente outros critérios de projeto. A partir da avaliação do número de pessoas e tubulações potencialmente expostas a um incidente de contaminação, notou-se uma melhoria muito

significativa na segurança da rede após a setorização, com uma redução de 60% e 85%, respectivamente.

Di Nardo *et al.* (2013) investigaram a RDA de Parete, Itália. E notaram que é possível diminuir a exposição dos usuários á contaminantes, porém a eficácia depende do número de DMCs projetados e também da rapidez que é realizado o isolamento do distrito. Mais tarde, Di Nardo *et al.* (2015) propuseram uma metodologia para a setorização em uma RDA do México, visando maximizar a proteção da rede. De fato, a setorização mostrou-se ser uma alternativa boa para proteção contra ataques maliciosos.

4 ANÁLISE DE PUBLICAÇÕES VIA CITESPACE

Através do *software* CiteSpace foram identificadas informações relevantes sobre os artigos analisados, como, por exemplo, as referências mais relevantes e o grau de centralidade das pesquisas (parâmetro fornecido pelo próprio *software*). A centralidade representa o grau de inovação do trabalho e sua atuação como fonte geradora de mais estudos na área, sendo representada pelas bolas amarelas, de forma que, quanto maior sua dimensão, maior o índice de centralidade da referência. A rede das principais referências avaliadas é ilustrada na Figura 1.

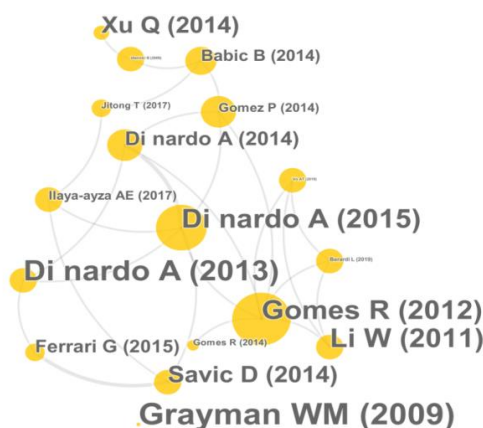


Figura 1 - Rede das principais referências determinada por meio do CiteSpace.

Dada a frequência das citações, a Tabelas 1 apresenta a classificação das principais referências. É perceptível a notoriedade do estudo realizado por Grayman *et al.*, (2009), que analisaram a setorização como solução para a proteção de contra contaminantes na água. Avaliando os escores de centralidade das referências apresentados na Tabela 2, é reforçada a importância de

Gomes *et al.*, (2012), não somente em seu número de citações, mais também pela centralidade da pesquisa, apontando inovação ao propor uma nova metodologia para a setorização de RDAs.

Tabela 1 – Principais referências de acordo com a frequência de citações.

Frequência de citações	Centralidade	Referência
54	0,00	(GRAYMAN <i>et al.</i> , 2009)
35	0,12	(DI NARDO <i>et al.</i> , 2013)
31	0,00	(LI W <i>et al.</i> , 2011)
28	0,78	(GOMES <i>et al.</i> , 2012)
27	0,52	(DI NARDO <i>et al.</i> , 2015)

Tabela 2 – Principais referências de acordo com a centralidade.

Frequência de citações	Centralidade	Referência
28	0,78	(GOMES <i>et al.</i> , 2012)
27	0,52	(DI NARDO <i>et al.</i> , 2015)
4	0,51	(GOMEZ <i>et al.</i> , 2014)
7	0,50	(BABIC <i>et al.</i> , 2014)
0	0,23	(ULANICKI <i>et al.</i> , 2009)

5 CONCLUSÃO

A setorização de redes de distribuição de água implica na melhoria da gestão de água no setor de saneamento. Além disso, permite a redução de perdas de água através da redução de pressão e/ou agilidade na localização precisa de vazamentos, facilita a organização do cronograma de suprimentos nos sistemas com abastecimento intermitente, e pode ser a melhor alternativa para proteção contra contaminantes na água.

Esse trabalho apresenta uma revisão de literatura com a análise de diferentes estudos de casos em diversos países do mundo. As investigações realizadas mostram a eficiência da setorização, sendo a ação integrada, através da implantação e monitoramento de DMCs, muito mais eficiente do que as ações pontuais geralmente adotadas pelas companhias de água.

A integração do Desenvolvimento Sustentável é um desafio do XXI, a busca pela preservação e conservação dos recursos naturais é necessária e impactante para as nações. Logo a setorização se apresenta como uma importante ferramenta para a conservação da água no semiárido, região caracterizada pela escassez hídrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE).

REFERÊNCIAS

- BABIC, B.; DUKIC, A.; STANIC, M. (2014). “*Managing water pressure for water savings in developing countries.*” *Water AS*, 40 (2), pp. 221-232.
- BERARDI, L. *et al* (2019). “*Integrated pressure control strategies for sustainable management of water distribution networks.*” *E3S Web of Conferences* 85, pp. 1-8
- CAMPBELL, E. *et al*. (2016). “*A novel water supply network sectorization methodology based on a complete economic analysis, including uncertainty.*” *Water*. 8(5), pp 1-19.
- CHARALAMBOUS, B. (2005). “*Experiences in DMA redesign at the Water Board of Lemesos, Cyprus.*” *Leakage 2005 - Conference Proceedings*, pp. 1-11.
- DI NARDO, A. *et al*. (2013). “*Water Network Protection from Intentional Contamination by Sectorization.*” *Water Resources Management*. 27(6), pp. 1837-1850.
- DI NARDO, A. *et al*. (2013) “*Water network sectorization based on graph theory and energy performance indices.*” *Journal of Water Resources Planning and Management*. 140(5), pp. 620-629.
- DI NARDO, A. *et al*. (2015). “*Dual-use value of network partitioning for water system management and protection from malicious contamination.*” *Journal of Hydroinformatics*. 17(3), pp. 361-376.
- FERRARI, G.; SAVIC, D. (2015). “*Economic Performance of DMAs in Water Distribution Systems.*” *Procedia Engineering* 119(1), pp. 189-195.
- GOMES, R.; MARQUES, A. S.; SOUSA, J. (2012). “*Decision support system to divide a large network into suitable District Metered Areas.*” *Water Science and Technology* 65(9), pp. 1667-1675.
- GOMES, R.; SOUSA, J.; MARQUES, A. S. (2014) “*Influence of future water demand patterns on the district metered areas design and benefits yielded by pressure management.*” *Procedia Engineering* 70, pp. 744 - 752.
- GÓMEZ-MARTINEZ, P.; CUBILLO, F.; MARTÍN, F. J. (2014). “*Comprehensive and Efficient Sectorization of Distribution Networks.*” *Procedia Engineering* 70, pp. 753-762.
- GRAYMAN, W. M.; MURRAY, R.; SAVIC, D. A. (2009) “*Effects of redesign of water systems for security and water quality factors.*” *Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress 2009* 342, pp. 504-514

- JITONG, T.; JOTHITYANGKOON, C. (2017). “*Reducing water loss in a water supply system using a district metering area (DMA): A case study of the Provincial Waterworks Authority (PWA), Lop Buri Branch.*” Engineering and Applied Science Research, 44(3), pp. 154-160.
- LAUCELLI, D. B. *et al.* (2017). “*Optimal Design of District Metering Areas for the Reduction of Leakages.*” Journal of Water Resources Planning and Management 143(6), pp. 1-12.
- LI, W. *et al* (2011). “*Development of systems for detection, early warning, and control of pipeline leakage in drinking water distribution: A case study*” Journal of Environmental Sciences, 23(11), pp. 1816-1822.
- MACDONALD, G.; YATES. C. D. (2005) “*DMA Design and Implementation, a North American Context.*” Leakage 2005 - Conference Proceedings, pp. 1-8.
- MELO, E.G.; PRESTES, J.C. (2018). “*Setorização como ferramenta para o abastecimento pleno e eficiente.*” In 48º Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE - Alternativas de Financiamentos para o saneamento público, Fortaleza, Maio 2018, pp. 1-10.
- MOTTA, R. G. (2010). “*Importância da setorização adequada para combate as perdas reais de água de abastecimento público.*” Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, D. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. (2014) “*Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em rede de distribuição no Recife-PE.*” Revista DAE, 197 (1517), pp. 56-70.
- SAVIĆ, D.; FERRARI, G. (2014) “*Design and performance of district metering areas in water distribution systems.*” Procedia Engineering 89, pp. 1136-1143.
- SOARES, A.S. *et al* (2017). “*Desafios na setorização do sistema de abastecimento de água costa norte em Florianópolis/SC para controle e redução de perdas.*” Congresso Abes Fenasan, São Paulo, 2017, 1, pp. 1-12.
- ULANICKI *et al.* (2008) “*Pressure control in district metering areas with boundary and internal pressure reducing valves.*” Geotechnical Special Publication 340(187), pp. 17-20
- VO, A. T; MAI, L. H.; NGUYEN, H. T. N. (2018). “*Automation with renewable energy to optimize the exploitation of water supply networks in Ninh Thuan province.*” MATEC Web of Conferences 193(98), pp. 1-11.
- XU, Q. *et al.* (2014). “*Water Saving and Energy Reduction through Pressure Management in Urban Water Distribution Networks.*” Water Resources Management, 28(11), pp. 3715-3726.
- ZHANG, K. *et al.* (2019) “*A practical multi-objective optimization sectorization method for water distribution network.*” Science of the Total Environment 656, pp. 1401-1412.