



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

RODRIGO LOURENÇÃO NUNES, Cap Eng

Gestão inteligente da infraestrutura hídrica: estratégia integrada IQA-SIG

Rio de Janeiro

2025

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

RODRIGO LOURENÇÃO NUNES, Cap Eng

Gestão inteligente da infraestrutura hídrica: estratégia integrada IQA-SIG

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Gestão Institucional

Orientador: Patricia Fernanda Barros Pereira Dias,
Cap Dent

Rio de Janeiro

2025

RODRIGO LOURENÇÃO NUNES, Cap Eng

Gestão inteligente da infraestrutura hídrica: estratégia integrada IQA-SIG

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola
de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Presidente, Marcos Zeitone Koialainski Junior, Maj Av - EAOAR

Patricia Fernanda Barros Pereira Dias, Cap Dent - EAOAR

Rio de Janeiro

2025

RESUMO

A gestão dos sistemas de abastecimento de água (SAA) operados pelas Organizações Militares (OMs) da Força Aérea Brasileira (FAB) representa um desafio relevante, dado o desgaste da infraestrutura e a escassez de ferramentas de apoio à decisão. Essas limitações comprometem o planejamento de ações preventivas e a execução eficiente de manutenções corretivas, impactando a alocação de recursos e a prontidão operacional. Neste contexto, este ensaio defende a implantação da estratégia integrada entre o Índice de Qualidade da Água (IQA) e Sistema de Informações Geográficas (SIG) como solução para aprimorar a gestão nos SAA sob responsabilidade das OMs da FAB. No planejamento das ações de manutenção preventivas, essa abordagem contribui para identificar trechos com maior vulnerabilidade operacional, mesmo diante de dados limitados, favorecendo a alocação estratégica dos recursos financeiros disponíveis para reabilitação. Na manutenção corretiva, a representação espacial da qualidade da água favorece a identificação de áreas com maior risco sanitário, possibilitando respostas direcionadas, que minimizam o impacto de falhas sobre setores sensíveis das OMs e asseguram a continuidade dos serviços essenciais. Conclui-se, portanto, que a adoção dessa estratégia amplia a capacidade de diagnóstico dos SAA, ao associar dados laboratoriais a variáveis operacionais e espaciais, proporcionando suporte técnico à tomada de decisão. Além disso, essa estratégia pode ser disseminada para outras OMs, como a Academia da Força Aérea (AFA) e a Escola de Especialistas de Aeronáutica (EEAR), promovendo padronização, sustentabilidade e eficiência logística, em consonância com os objetivos do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PEMAER).

Palavras-chave: sistemas de abastecimento de água; índice de qualidade da água; sistema de informações geográficas.

1 INTRODUÇÃO

Manter as operações da Força Aérea Brasileira (FAB) requer sistemas de abastecimento de água (SAA) eficientes e eficazes, que garantam um fornecimento contínuo e seguro de água para o seu efetivo e respectivas atividades. No entanto, a deterioração dessa infraestrutura representa um grande desafio para as Organizações Militares (OMs), responsáveis por sua gestão, operação e manutenção. Com o tempo, o desgaste das tubulações pode comprometer o desempenho hidráulico, aumentar os custos de reparo e elevar os riscos de contaminação na rede de distribuição.

Para garantir a qualidade da água distribuída aos usuários, a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, estabelece que os operadores dos SAA devem realizar monitoramentos periódicos dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água destinada ao consumo humano (Brasil, 2021). No âmbito da FAB, tais análises já são conduzidas regularmente pelas OMs, com base em amostras coletadas em pontos específicos da rede. No entanto, esses dados, embora disponíveis, são utilizados de forma pontual e separadamente, o que dificulta a visualização de padrões de degradação da qualidade ao longo da rede de distribuição e a identificação de trechos mais críticos.

Dessa forma, a aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA), que integra os diversos parâmetros laboratoriais em um único indicador qualitativo, surge como alternativa para simplificar e consolidar a avaliação da qualidade da água (Chidiac *et al.*, 2023). Ainda assim, a aplicação isolada do IQA também apresenta limitações, pois não permite associar os resultados à localização geográfica dos trechos da rede. Com isso, a integração do IQA a Sistema de Informações Geográficas (SIG), por meio de ferramentas de geoprocessamento, amplia a capacidade de análise ao permitir, por exemplo, gerar mapas que estimam a qualidade da água em áreas sem monitoramento direto, com base em dados de pontos próximos, e identificar possíveis correlações entre a qualidade da água e fatores como a idade e o desgaste dos tubos, o material utilizado na sua fabricação, bem como as propriedades hidráulicas e mecânicas, ou condições topográficas (Fatima *et al.*, 2022; Kleiner; Rajani, 2001).

Diante desse cenário, este ensaio defende a implantação da estratégia integrada IQA-SIG como solução para aprimorar a gestão nos SAA sob responsabilidade das OMs da FAB.

A escolha dessa abordagem justifica-se, pois, essa integração facilita o planejamento das ações de manutenção preventivas, contribuindo para a redução de custos operacionais e a alocação eficiente dos recursos financeiros disponíveis. Além disso, permite realizar uma análise espacial da qualidade da água distribuída, identificando de forma precisa as áreas

críticas da rede que representam risco à segurança sanitária e precisam de intervenções corretivas para manter a prontidão operacional das OMs.

2 DESENVOLVIMENTO

Na gestão dos SAA, a insuficiência de ferramentas analíticas adequadas frequentemente resulta em intervenções emergenciais, aumento expressivo de custos operacionais e riscos sanitários elevados, que podem até comprometer a prontidão operacional da FAB.

Nesse contexto, destaca-se inicialmente a relevância do planejamento preventivo e da otimização de recursos. A identificação antecipada das tubulações mais vulneráveis a falhas, a partir de metodologias acessíveis que integram análise espacial e avaliação de risco, possibilita uma alocação racional e estratégica dos recursos financeiros e técnicos disponíveis.

Posteriormente, torna-se igualmente importante adotar estratégias que orientem a manutenção corretiva, priorizando intervenções em trechos da rede cuja qualidade da água possa comprometer a prontidão operacional. Para tanto, é fundamental aplicar métodos capazes de identificar áreas críticas sob a perspectiva do risco sanitário.

2.1 PLANEJAMENTO PREVENTIVO E OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS

Em estudo recente, Nunes, Arraut e Pimentel (2023) desenvolveram um modelo de avaliação de risco simplificado que destaca os tubos mais suscetíveis a falhas (hidráulicas e mecânicas) e suas respectivas consequências qualitativas (IQA) e financeiras. Os resultados obtidos no SAA do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) classificou a rede de distribuição, destacando os tubos com alto risco de falha e respectivos custos para substituição e/ou renovação, possibilitando o planejamento preventivo e a otimização dos recursos. A metodologia simples e a utilização de *softwares* livres (*QGis* e *Epanet*) tornam essa abordagem particularmente viável em SAA de pequeno e médio porte, como os operados por OMs da FAB que frequentemente possuem limitações financeiras, técnicas e operacionais.

Ao utilizar ferramentas acessíveis e sem custos de licenciamento é possível reduzir os investimentos necessários para implantação e operação, facilitando a adesão do modelo na FAB. Além disso, por não exigir treinamento técnico complexo, a metodologia pode ser implementada com recursos humanos já existentes nas próprias OMs, potencializando seu uso prático na gestão do SAA. Ademais, os resultados parciais obtidos quanto aos parâmetros hidráulicos, mecânicos, qualitativos e financeiros podem ser considerados, individualmente ou

coletivamente, para ações preventivas na rede, adaptando a matriz de risco aos dados disponíveis.

Embora a disponibilidade dos dados necessários para a obtenção dos parâmetros hidráulicos, mecânicos e da qualidade da água em cada tubulação seja um fator crítico para aplicação do modelo desenvolvido por Nunes, Arraut e Pimentel (2023), essas informações podem ser obtidas a partir do cadastro georreferenciado das redes, da modelagem hidráulica e do plano de monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água. Essa possibilidade torna a abordagem viável em outros SAA da FAB, como na Academia da Força Aérea (AFA) e na Escola de Especialistas de Aeronáutica (EEAR), pois possuem características operacionais similares a do DCTA, ou seja, indisponibilidade dos registros históricos das falhas hidráulicas e estruturais que limitam a adoção de modelos que dependem diretamente dessas bases históricas (Tscheikner-Gratl *et al.*, 2015).

Ademais, outros pesquisadores reforçam que o uso de ferramentas geoespaciais auxilia na identificação precoce de padrões de deterioração nas redes, resultando em ações preventivas mais eficazes, menor incidência de falhas e otimização dos custos associados à manutenção (Devera, 2013; Salehi *et al.*, 2020).

Nesse contexto, o planejamento antecipado de substituições, com base na identificação de tubulações com fatores de vulnerabilidade, possibilita que as OMs da FAB organizem seus orçamentos e mobilizem os recursos necessários de forma eficiente. A estratégia de priorização de intervenções proposta por Agbenowosi (2000) fundamenta-se na substituição preventiva, ou seja, em intervenções realizadas antes que ocorra a falha, por meio da análise da evolução da deterioração mecânica das tubulações. Quando integrada ao SIG, essa abordagem se torna ainda mais efetiva, pois permite representar espacialmente a criticidade dos trechos da rede e visualizar com clareza onde e quando intervir de forma estratégica. Além disso, a coordenação dessas intervenções com outras ações de manutenção, como recapeamento de vias nas guarnições militares, contribui ainda mais para a otimização de recursos e evita retrabalhos.

Complementarmente, outros estudos destacam o papel do SIG como ferramenta para consolidar um cadastro técnico georreferenciado da rede, reunindo dados históricos de falhas, inspeções, qualidade da água (IQA) e variáveis ambientais (Barbedo *et al.*, 2024; Bonney *et al.*, 2024). Essa integração permite identificar padrões de falhas, correlacionar fatores de risco e priorizar trechos para inspeções, manutenção preventiva ou substituição.

Além dos modelos baseados em risco já amplamente discutidos, novas abordagens vêm sendo propostas para ampliar a eficácia dessas decisões. Modelos baseados em aprendizado de máquina têm demonstrado alto potencial para prever falhas em tubulações e otimizar a

manutenção preventiva (Latifi *et al.*, 2024). Ainda que dependam de grande volume de dados para ajustes finos, esses modelos oferecem alto grau de precisão e podem ser integrados a estratégias baseadas em risco, fortalecendo a capacidade preditiva e permitindo estimativas confiáveis da probabilidade de falhas futuras (Muddassir *et al.*, 2024). Assim, após a consolidação da estratégia simplificada proposta, será possível às OMs avançarem gradualmente para métodos mais robustos e complexos, utilizando técnicas de aprendizado de máquina para aprimorar ainda mais a gestão de seus sistemas de abastecimento de água.

Diante dos argumentos apresentados em diferentes contextos, a adoção da estratégia integrada IQA-SIG se mostra uma solução viável para uma gestão mais eficiente da infraestrutura hídrica, favorecendo decisões técnicas bem fundamentadas para aprimorar o planejamento preventivo e a alocação de recursos na FAB.

2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA E PRONTIDÃO OPERACIONAL

Falhas na rede de distribuição que exigem manutenções corretivas podem comprometer diretamente a continuidade das atividades institucionais e a prontidão operacional das OMs. Interrupções no fornecimento de água em setores estratégicos, como alojamentos, hospitais, laboratórios, institutos, instalações de ensino e áreas operacionais, impactam não apenas a rotina do efetivo, mas também o funcionamento de serviços essenciais, exigindo respostas rápidas e tecnicamente fundamentadas.

Essa realidade foi evidenciada no DCTA, onde a deterioração da infraestrutura hídrica motivou a realização de um conjunto de obras de reabilitação, abrangendo desde a desativação de redes com incrustações até a implantação de novas adutoras, substituição de válvulas obsoletas, instalação de sensores e macromedidores, correção de vazamentos e reestruturação do controle operacional do sistema. Essas intervenções, documentadas em *Data Books* (GAP-SJ, 2019a, 2019b), foram fundamentadas em diagnósticos técnicos que articularam dados de qualidade da água, parâmetros hidráulicos e criticidade operacional. A lógica aplicada nesses projetos reflete os princípios do modelo IQA-SIG, permitindo identificar trechos críticos com base em evidências empíricas e priorizar as ações corretivas de forma técnica, efetiva e alinhada à prontidão operacional das OMs.

Esse exemplo evidencia como a estratégia IQA-SIG pode fortalecer a capacidade das OMs em planejar e executar manutenções corretivas de forma direcionada e com menor impacto operacional. Por meio da geração de mapas de risco, os gestores conseguem identificar com precisão os trechos mais vulneráveis da rede e priorizar as intervenções corretivas com

base em critérios objetivos, como risco sanitário e impacto sobre a continuidade das operações (Nunes *et al.*, 2023). Isso proporciona maior agilidade na resposta e evita alocações de recursos em ações de baixo risco.

Outrossim, o uso integrado do IQA-SIG contribui para a execução mais eficiente das manutenções corretivas, ao possibilitar a identificação precisa dos trechos da rede que apresentam comprometimento da qualidade da água. Com base nesse diagnóstico, tornam-se possíveis intervenções pontuais, como o reforço da dosagem de cloro, a substituição de segmentos com presença de biofilmes ou a correção de trechos com perda de pressão. Essas ações não apenas restabelecem o fornecimento em curto prazo, mas também garantem a potabilidade da água e conseqüentemente a saúde do efetivo, promovendo maior confiabilidade e estabilidade na operação dos SAA.

Outras abordagens vêm sendo discutidas na literatura para apoiar a priorização de manutenções corretivas. Modelos multicritério como AHP, TOPSIS e PROMETHEE (Tscheikner-Gratl *et al.*, 2017), oferecem análises robustas e sofisticadas, mas apresentam limitações. O AHP, embora amplamente utilizado por integrar critérios qualitativos e quantitativos, torna-se complexo com o aumento de alternativas e exige verificações constantes de consistência. O PROMETHEE pode sofrer com inversão de rankings diante de novas alternativas, e o ELECTRE demanda domínio técnico sobre limiares de decisão e maior capacidade computacional. Em comum, todos esses métodos requerem bases de dados estruturadas, processamento e conhecimento técnico avançado, requisitos ainda distantes da realidade operacional das OMs da FAB.

Em contrapartida, o modelo qualitativo de risco proposto por Salehi e Salamati Nia (2024) constitui uma alternativa viável em contextos de baixa informatização, baseando-se em avaliações linguísticas conduzidas por operadores experientes. Embora dispense dados numéricos precisos, esse modelo apresenta limitações importantes, uma vez que a subjetividade das escalas linguísticas pode comprometer a confiabilidade das análises, enquanto a ausência de métricas quantitativas dificulta a verificação de consistência entre julgamentos e reduz a sensibilidade da priorização em redes mais complexas.

Diante da discussão apresentada, a implantação da estratégia integrada IQA-SIG oferece uma base técnica sólida para a priorização de manutenções corretivas, contribuindo diretamente para a continuidade dos serviços essenciais, à proteção da saúde do efetivo e a preservação da prontidão operacional na FAB.

3 CONCLUSÃO

Para o cumprimento de sua missão institucional, observa-se na FAB que a gestão da infraestrutura hídrica é determinante para a continuidade das atividades operacionais e administrativas. Entretanto, a deterioração dos SAA e a ausência de ferramentas adequadas comprometem o planejamento das manutenções e dificultam a tomada de decisões nas OMs responsáveis pela sua gestão. Essas limitações afetam tanto ações preventivas quanto corretivas, com impactos diretos na alocação de recursos e na prontidão operacional.

No planejamento preventivo, verificou-se que o modelo IQA-SIG permite identificar trechos vulneráveis da rede, possibilitando que as OMs priorizem intervenções com base em evidências empíricas. No DCTA, essa estratégia permitiu classificar tecnicamente os pontos críticos e otimizar a aplicação dos recursos disponíveis. Além de favorecer o uso racional do orçamento, a abordagem amplia a capacidade técnica das unidades para atuarem de forma proativa, mesmo diante da ausência de registros históricos detalhados, realidade comum nos SAA operados por diversas OMs da FAB.

No que diz respeito à manutenção corretiva, observou-se que a solução IQA-SIG também pode apoiar as OMs no enfrentamento de falhas que comprometem a continuidade de serviços essenciais. A experiência no DCTA demonstrou que, com base em dados da qualidade da água representados no cadastro georreferenciado, foi possível identificar os setores da rede com maior risco sanitário, permitindo intervenções direcionadas. Isso contribuiu para reduzir o impacto de falhas hidráulicas e melhorar a qualidade da água distribuída. Embora outras abordagens também ofereçam suporte à decisão, necessitam de dados que dificultam sua aplicação na FAB, como registros históricos de falhas e capacitação.

Dessa forma, diante das evidências apresentadas, reafirma-se que a implantação da estratégia integrada IQA-SIG representa uma solução efetiva para aprimorar a gestão nos SAA sob responsabilidade das OMs da FAB.

Por fim, a estratégia IQA-SIG configura-se como uma oportunidade real de modernização da gestão hídrica, com potencial de disseminação em OMs como a AFA e a EEAR. Além de ser uma solução de fácil adoção e baixo custo, permite padronizar processos, qualificar o planejamento e aprimorar a resposta diante de situações de risco. Sua aplicação fortalece a governança baseada em dados e alinha-se às diretrizes do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (Brasil, 2024), especialmente no que se refere à sustentabilidade e à eficiência logística. Assim, representa não apenas um avanço técnico, mas um passo para uma Força Aérea mais moderna, integrada e preparada para os desafios do futuro.

REFERÊNCIAS

- AGBENOWOSI, N. K. **A mechanistic analysis based decision support system for scheduling optimal pipeline replacement**. 2000. 352 p. Thesis (Doctor of Philosophy in Civil Engineering) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 2000. Disponível em: <https://vtechworks.lib.vt.edu/server/api/core/bitstreams/9d77990b-5af8-4fb2-a9d5-341c3d408bf9/content>. Acesso em 14 abr. 2025.
- BARBEDO, M. D. G.; SILVA, F. G. B.; MARCONDES, M. C.; SILVA, A. T. Y. L.; MARQUES, S. M.; LARA, L. L. D.; REIS, J. A. T. Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de abastecimento de água real no Sul de Minas Gerais com integração dos plugins QGISRed e processing R provider: Um estudo de caso na perspectiva da sustentabilidade hídrica e tecnológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 18, n. 1, p. 822–839, 7 out. 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v18.1.p822-839. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/261624>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- BONNEY, K. L.; KLISE, K. A.; POFF, J. W.; RIVERA, S.; SEARLES, I.; CHESTER, M. Data-informed synthetic networks of water distribution systems for resilience analysis in Puerto Rico. **Water**, Basel, v. 16, n. 23, p. 3356, 22 Nov. 2024. DOI: 10.3390/w16233356. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16233356>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria GABAER nº 1.453/GC3, de 5 de junho de 2024. Aprova o Plano Estratégico Militar da Aeronáutica. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 107, p. 87-137, 10 jun. 2024. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=37409>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS no 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: (85), 127-127. [s. d.]. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 14 abr. 2025.
- CHIDIAC, S.; EL NAJJAR, P.; OUAINI, N.; EL RAYESS, Y.; EL AZZI, D. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, [s. l.], v. 22, p. 349-395, 11 Mar. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-023-09650-7>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- DEVERA, J. **Risk assessment model for pipe rehabilitation and replacement in a water distribution system**. 2013. 127 p. Master's Theses (Master of Science in Civil and Environmental Engineering) - Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2013. Disponível em: <https://digitalcommons.calpoly.edu/theses/1035>. Acesso em 14 abr. 2025.

FATIMA, S.U; KHAN, M.A; ALAMGIR, A.; MAHMOOD, N.; SULMAN, N. Multivariate and spatial methods-based water quality assessment of Chu Tran Valley, Gilgit Baltistan. **Applied Water Science**, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 129, 15 Apr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01661-z>. Acesso em: 14 abr. 2025.

GRUPAMENTO DE APOIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (GAP-SJ). **Data Book: obras de infraestrutura hidráulica no Sistema de Abastecimento de Água (SAA) do DCTA – fase 2**: Contrato nº 109-GAPSJ-CODCTA-2019. São José dos Campos: Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial, 2019a. Disponível em: <https://1drv.ms/b/s!AhNIFLefEzDGkuR0JxcWn0gec84mKA?e=UAlTb3>. Acesso em: 14 abr. 2025.

GRUPAMENTO DE APOIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (GAP-SJ). **Data Book: obras de infraestrutura hidráulica no Sistema de Abastecimento de Água (SAA) do DCTA – fase 3**: contrato nº 144-GAPSJ-IAE-2019. São José dos Campos: Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial, 2019b. Disponível em: <https://1drv.ms/b/s!AhNIFLefEzDGkuR0r7rH5NPs8zYFWQ?e=urwtRe>. Acesso em: 14 abr. 2025.

KLEINER, Y.; RAJANI, B. Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models. **Urban Water**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 131-150, Sep. 2001. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez422.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1462075801000334?via%3Dihub>. Acesso em: 14 abr. 2025.

LATIFI, M.; ZALI, R. B.; JAVADI, A. A.; FARMANI, R. Efficacy of tree-based models for pipe failure prediction and condition assessment: a comprehensive review. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 150, n. 7, p. 03124001, July 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-6334>. Acesso em: 14 abr. 2025.

MUDDASSIR, M.; ZAYED, T.; TAIWO, R.; BEN SEGHIER, M.E.A. Advancing the analysis of water pipe failures: a probabilistic framework for identifying significant factors. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 14, p. 19218, 19 Aug. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69855-w>. Acesso em: 14 abr. 2025.

NUNES, R.; ARRAUT, E.; PIMENTEL, M. Risk Assessment Model for the Renewal of Water Distribution Networks: A Practical Approach. **Water**, Basel, v. 15, n. 8, p. 1509, 12 Apr. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w15081509>. Acesso em: 14 abr. 2025.

SALEHI, S.; JALILI GHAZIZADEH, M.; TABESH, M.; VALADI, S.; SALAMATI NIA, S. A risk component-based model to determine pipes renewal strategies in water distribution networks. **Structure and Infrastructure Engineering**, London, v. 17, n. 10, p. 1338-1359, 10 Nov. 2020. DOI: 10.1080/15732479.2020.1842466. Disponível em: <https://doi-org.ez422.periodicos.capes.gov.br/10.1080/15732479.2020.1842466>. Acesso em 14 abr. 2025.

SALEHI, S.; SALAMATI NIA, S. A qualitative-risk-based model to assess group decisions for planning the maintenance-renewal works of water pipelines with unreliable operational data. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 38, p. 3153–3177, 23 Mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03807-x>. Acesso em: 14 abr. 2025.

TSCHEIKNER-GRATL, F.; EGGER, P.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. Comparison of multi-criteria decision support methods for integrated rehabilitation prioritization. **Water**, Basel, v. 9, n. 2, p. 68, 24 Jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w9020068>. Acesso em: 14 abr. 2025.

TSCHEIKNER-GRATL, F.; SITZENFREI, R.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. Enhancement of limited water supply network data for deterioration modelling and determination of rehabilitation rate. **Structure and Infrastructure Engineering**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 366–380, 06 Mar. 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2015.1017730>. Acesso em: 14 abr. 2025.