

Planejamento estratégico para segurança hídrica urbana: uma proposta integrada para o município de Crateús/CE

Strategic planning for urban water security: an integrated proposal for the municipality of Crateús/CE

Planificación estratégica para la seguridad hídrica urbana: una propuesta integrada para el municipio de Crateús/CE

DOI: 10.54033/cadpedv22n10-009

Originals received: 6/30/2025

Acceptance for publication: 7/24/2025

Karina Albuquerque da Silva

Mestra em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)
Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil
E-mail: karinaquerque.ufc@gmail.com

Ana Bárbara de Araújo Nunes

Doutora em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)
Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil
E-mail: abarbara@deha.ufc.br

Francisco de Assis de Souza Filho

Pós-Doutor em Engenharia
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)
Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil
E-mail: assis@ufc.br

Tiago de Abreu Lima

Mestre em Energias Renováveis
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)
Endereço: Fortaleza, Ceará, Brasil
E-mail: tiagoabreu.engamb@gmail.com

RESUMO

A segurança hídrica urbana representa um dos maiores desafios para municípios do semiárido brasileiro, como Crateús (CE), onde a escassez de água é agravada por falhas estruturais, limitações institucionais e eventos climáticos extremos. Este artigo propõe uma abordagem integrada de planejamento estratégico, com base no mapeamento de riscos técnicos e institucionais, análise

de stakeholders e aplicação do ciclo PDCA, aliando inteligência artificial (IA) como suporte à gestão. A metodologia adotada envolveu diagnóstico de eventos críticos, entrevistas com atores-chave, aplicação de questionários e validação participativa com órgãos gestores, resultando na construção de um mapa de risco espacializado. As principais vulnerabilidades técnicas identificadas incluíram a dependência de fonte única, perdas superiores a 42% na distribuição e redes antigas. Institucionalmente, observou-se ausência de protocolos de contingência, fragmentação da governança e conflitos pelo uso da água. A análise de stakeholders revelou o protagonismo da CAGECE, COGERH e Prefeitura na governança local. A aplicação do ciclo PDCA permitiu estruturar metas, indicadores e ações corretivas, acompanhadas por meio de auditoria técnica e revisão contínua. Como produto final, foi elaborado um plano municipal replicável, organizado em cinco módulos e apoiado por ferramenta de IA capaz de processar relatórios, simular cenários e priorizar investimentos. Conclui-se que a combinação entre dados, gestão por processos, participação social e tecnologia representa uma solução viável e eficaz para a segurança hídrica em municípios de médio porte.

Palavras-chave: Segurança Hídrica. Gestão Urbana. Ciclo PDCA. Inteligência Artificial. Semiárido.

ABSTRACT

Urban water security is a critical challenge in Brazil's semi-arid regions, especially in cities like Crateús (CE), where water scarcity is intensified by structural failures, institutional fragilities, and extreme weather events. This article proposes an integrated strategic planning approach based on technical and institutional risk mapping, stakeholder analysis, and the PDCA cycle, supported by artificial intelligence (AI). The methodology included diagnostics of critical events, stakeholder interviews, surveys, and participatory validation, resulting in a spatialized risk map. Key technical vulnerabilities identified were dependence on a single water source, outdated infrastructure, and water loss rates exceeding 42%. Institutional weaknesses included a lack of contingency protocols, fragmented governance, and conflicts over water use. Stakeholder mapping highlighted the central role of CAGECE, COGERH, and the municipal government in local governance. The PDCA cycle enabled the formulation of measurable goals, performance indicators, and corrective actions, monitored through audits and continuous revision. The final product was a replicable municipal water security plan, structured in five thematic modules and supported by an AI tool capable of processing reports, simulating scenarios, and prioritizing investments. The results demonstrate that combining data, process management, social participation, and technology offers a viable and effective path to strengthening water security in medium-sized municipalities.

Keywords: Water Security. Urban Planning. PDCA Cycle. Artificial Intelligence. Semi-Arid.

RESUMEN

La seguridad hídrica urbana representa uno de los mayores desafíos para los municipios del semiárido brasileño, como Crateús (CE), donde la escasez de agua se ve agravada por fallas estructurales, limitaciones institucionales y eventos climáticos extremos. Este artículo propone un enfoque integrado de planificación estratégica, basado en el mapeo de riesgos técnicos e institucionales, análisis de actores clave y aplicación del ciclo PDCA, aliando la inteligencia artificial (IA) como apoyo a la gestión. La metodología adoptada incluyó el diagnóstico de eventos críticos, entrevistas con actores clave, aplicación de cuestionarios y validación participativa con organismos gestores, lo que resultó en la elaboración de un mapa de riesgos espacializado. Las principales vulnerabilidades técnicas identificadas fueron la dependencia de una única fuente, pérdidas superiores al 42% en la distribución y redes antiguas. Institucionalmente, se observó la ausencia de protocolos de contingencia, fragmentación de la gobernanza y conflictos por el uso del agua. El análisis de los actores reveló el protagonismo de CAGECE, COGERH y el Ayuntamiento en la gobernanza local. La aplicación del ciclo PDCA permitió estructurar metas, indicadores y acciones correctivas, acompañadas de auditorías técnicas y revisión continua. Como producto final, se elaboró un plan municipal replicable, organizado en cinco módulos y respaldado por una herramienta de IA capaz de procesar informes, simular escenarios y priorizar inversiones. Se concluye que la combinación de datos, gestión por procesos, participación social y tecnología representa una solución viable y eficaz para la seguridad hídrica en municipios de tamaño medio.

Palabras clave: Seguridad Hídrica. Gestión Urbana. Ciclo PHVA. Inteligencia Artificial. Semiárido.

1 INTRODUÇÃO

A segurança do abastecimento de água constitui um dos principais desafios para a gestão urbana sustentável, especialmente em regiões com alta variabilidade climática e limitação de recursos hídricos. Em áreas semiáridas como o Sertão dos Inhamuns, no estado do Ceará, a escassez hídrica não é apenas uma condição ambiental, mas uma realidade que estrutura o cotidiano das populações e pressiona os sistemas urbanos de abastecimento. Municípios de médio porte, como Crateús, enfrentam vulnerabilidades complexas que combinam fatores naturais, tecnológicos, institucionais e sociais (ANA, 2021).

A ocorrência de secas prolongadas, como nos ciclos entre 2012 e 2017, evidenciou a fragilidade dos sistemas de abastecimento frente a choques hidrológicos extremos, levando à adoção de medidas emergenciais, como

perfuração de poços, operação de carros-pipa e adutoras provisórias. Contudo, tais medidas paliativas não substituem a necessidade de um planejamento estratégico orientado à resiliência hídrica, capaz de antever riscos e garantir a continuidade do serviço mesmo em cenários adversos (Barbosa *et al.*, 2020; CAGECE, 2022).

Além dos fatores climáticos, falhas operacionais — como perdas físicas na rede, baixa capacidade de reservação e deficiências no monitoramento — e lacunas na governança institucional agravam o quadro de vulnerabilidade. A fragmentação de responsabilidades entre entes municipais, estaduais e usuários dificulta uma resposta coordenada, reduzindo a eficácia de planos de contingência e a eficiência das ações preventivas (Freitas e Silva, 2019).

Nesse contexto, o planejamento estratégico com base em ferramentas de gestão de risco, análise de stakeholders e melhoria contínua (via ciclo PDCA) oferece uma abordagem integrada para fortalecer a segurança do abastecimento urbano. O mapeamento de riscos permite a identificação de vulnerabilidades técnicas e institucionais de forma especializada; a análise de *stakeholders* esclarece papéis e responsabilidades; e o ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act) promove a gestão adaptativa com foco na melhoria contínua dos processos (Deming, 1986; ISO 31000, 2018; Freeman, 1984).

Desta forma, este artigo propõe um modelo de aplicação dessas ferramentas no município de Crateús, com o objetivo de contribuir para a elaboração de planos municipais de segurança hídrica, baseados em dados, responsabilidades claras e processos de gestão eficazes. A proposta também incorpora o uso de inteligência artificial como suporte técnico à análise de documentos, priorização de ações e simulação de cenários, ampliando a capacidade local de tomada de decisão e a replicabilidade do modelo em contextos similares.

2 METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem aplicada e qualitativa, com caráter exploratório-descritivo, visando à construção de um modelo estratégico voltado à segurança do abastecimento de água urbana no município de Crateús (CE).

2.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1.1 Levantamentos de falhas e eventos críticos

Foi realizada uma análise documental com base em relatórios operacionais da CAGECE, boletins pluviométricos da FUNCEME, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e planos estaduais de recursos hídricos. Essa etapa identificou eventos de desabastecimento, manobras operacionais emergenciais e pontos críticos do sistema.

2.1.2 Construção de mapa de risco técnico e institucional

A partir do questionário aplicado, foram mapeados os elementos vulneráveis do sistema de abastecimento, considerando critérios como dependência de fonte única (Açude Realejo), perda de carga, fragilidade em reservatórios, e ausência de redundância na rede. A dimensão institucional foi analisada com base na capacidade de articulação entre os órgãos gestores e nos arranjos normativos existentes.

2.1.3 Mapeamento e análise de stakeholders

Foi aplicada uma matriz de influência vs. interesse para caracterizar os stakeholders-chave envolvidos na governança da água. A análise permitiu visualizar as relações de poder, cooperação e conflito entre órgãos como a CAGECE, COGERH, Prefeitura Municipal, CBH-RMF, sociedade civil organizada e usuários coletivos.

2.1.4 Mapeamento e análise de stakeholders

A estruturação do plano municipal seguiu a lógica do ciclo PDCA (Plan–Do–Check–Act), associando metas, ações, indicadores e agentes responsáveis:

- **Plan:** definição de objetivos e indicadores de segurança hídrica;
- **Do:** execução de ações corretivas e preventivas priorizadas;
- **Check:** verificação dos resultados por meio de auditoria técnica e análise de desempenho;
- **Act:** revisão e readequação do plano com base nos resultados monitorados.

2.1.5 Proposição de plano replicável e uso de IA como suporte técnico

A etapa final consistiu na elaboração de um modelo de plano municipal estruturado em módulos replicáveis, com apoio de algoritmos de inteligência artificial para análise documental, sistematização de dados e priorização de medidas conforme o grau de risco.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 LEVANTAMENTO DE FALHAS E EVENTOS CRÍTICOS

Nesse caso, o levantamento apontou diversas questões estruturais e operacionais que afetam a segurança hídrica do município. Um dos principais problemas identificados foram as interrupções no abastecimento ocasionadas por manutenções programadas e falhas estruturais. A CAGECE realiza periodicamente manutenções nos sistemas de captação, tratamento e distribuição, o que pode resultar em paralisações temporárias no fornecimento de água. Durante essas manutenções, o sistema é vulnerável, especialmente em áreas de difícil acesso ou em regiões mais altas da cidade, onde o tempo de recuperação do abastecimento pode ultrapassar 72 horas após a redistribuição (CAGECE, 2024).

Em relação à infraestrutura, um problema significativo foi a presença de redes antigas e desgastadas, que contribuem para perdas de água e falhas operacionais. Estudos realizados pelo Governo do Estado do Ceará indicaram que as redes de abastecimento de Crateús, com mais de 30 anos de operação, estavam comprometidas pela presença de vazamentos frequentes. Em 2023, a CAGECE iniciou a substituição de 59 km de redes e ramais de distribuição no município, o que está previsto para ser concluído até 2025. Até janeiro de 2024, aproximadamente 13% do trabalho já havia sido executado (CEARÁ, 2024).

Outro evento crítico relevante foi o cenário de escassez hídrica enfrentado pelo município. Durante o ano de 2024, os açudes que abastecem Crateús apresentaram níveis críticos de armazenamento, com apenas 23% da capacidade disponível. A redução das reservas hídricas aumentou o risco de desabastecimento, embora as chuvas em outras áreas do estado tenham mitigado parcialmente o problema. A situação evidenciou a dependência da cidade de fontes de água externas e a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas (CAGECE, 2024).

Além disso, conflitos de uso de água entre municípios também foram identificados como fator de risco. A transposição de água do açude Flor do Campo, localizado em Novo Oriente, para o açude Carnaubal, que abastece Crateús, gerou tensões entre as comunidades e os municípios envolvidos. A gestão eficiente desses recursos compartilhados e a mediação de conflitos são essenciais para a manutenção do abastecimento e a prevenção de futuras crises hídricas (CAGECE, 2024).

Os indicadores operacionais também revelaram pontos críticos no abastecimento de água. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2020 apontaram que o consumo médio de água por habitante em Crateús é de 131,7 litros/dia, o que é um valor aceitável. No entanto, o índice de perdas na distribuição de água foi de 42,44%, indicando que mais de 40% da água tratada não chega aos consumidores, seja por vazamentos ou falhas no sistema de distribuição (INFOSAN, 2020). Este alto índice de perdas contribui para a insegurança hídrica, além de comprometer a eficiência do sistema.

3.2 CONSTRUÇÃO DE MAPA DE RISCO TÉCNICO E INSTITUCIONAL

A construção do mapa de risco técnico e institucional do sistema de abastecimento de água de Crateús (CE) foi realizada com base em análises geoespaciais e institucionais, visando identificar vulnerabilidades críticas que comprometem a segurança hídrica do município.

3.2.1 Vulnerabilidades técnicas identificadas

1. Dependência de fonte única: O sistema de abastecimento de Crateús é altamente dependente do Açude Realejo, cuja capacidade de armazenamento é limitada. Essa dependência aumenta o risco de desabastecimento em períodos de estiagem prolongada;
2. Infraestrutura deficiente: Grande parte da rede de distribuição de água possui mais de 30 anos de uso, apresentando desgaste significativo e frequentes vazamentos. Em 2023, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) iniciou a substituição de 59 km de redes e ramais de distribuição, com previsão de conclusão até este ano, 2025;
3. Altos índices de perdas: Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2020 indicam que o índice de perdas na distribuição de água em Crateús é de 42,44%, o que compromete a eficiência do sistema e a segurança hídrica da população;
4. Falta de redundância operacional: A ausência de fontes alternativas de abastecimento e de sistemas de redundância operacional torna o sistema vulnerável a falhas técnicas e eventos climáticos extremos.

3.2.2 Vulnerabilidades institucionais identificadas

1. Fragmentação de competências: A gestão dos recursos hídricos em Crateús envolve múltiplas instituições, como CAGECE, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), Prefeitura Municipal e Comitês de

- Bacia, sem uma coordenação efetiva, o que dificulta a implementação de ações integradas;
2. Ausência de protocolos de contingência: Não há protocolos estabelecidos para ações emergenciais em casos de desabastecimento, o que compromete a capacidade de resposta rápida e eficiente das instituições envolvidas;
 3. Conflitos de uso da água: A transposição de água entre municípios, como a do Açude Flor do Campo (Novo Oriente) para o Açude Carnaubal (Cratêus), tem gerado tensões entre comunidades e municípios, evidenciando a necessidade de uma gestão compartilhada e equitativa dos recursos hídricos.

3.2.3 Representação espacial dos riscos

A definição das áreas críticas seguiu critérios de vulnerabilidade técnica (como falhas na infraestrutura, perda de pressão, ausência de redundância e risco de contaminação) e vulnerabilidade institucional (como ausência de protocolos, falhas na articulação interinstitucional e conflitos de uso da água). A classificação do nível de risco (alto, médio ou baixo) foi determinada com base na frequência dos eventos críticos, magnitude do impacto e capacidade de resposta institucional.

Utilizando IA como auxílio, foram mapeadas as áreas de maior vulnerabilidade técnica e institucional no município. As regiões periféricas e de maior altitude foram identificadas como mais suscetíveis a interrupções no abastecimento devido à baixa pressão na rede. Além disso, áreas com infraestrutura envelhecida e altos índices de perdas foram destacadas como prioritárias para intervenções.

Para tanto, a Tabela 1 apresenta os resultados encontrados das áreas/regiões com seus respectivos tipos de riscos, descrições detalhadas dos riscos e os níveis dos mesmos.

Tabela 1. Mapa de riscos de representação por áreas e categorias de risco

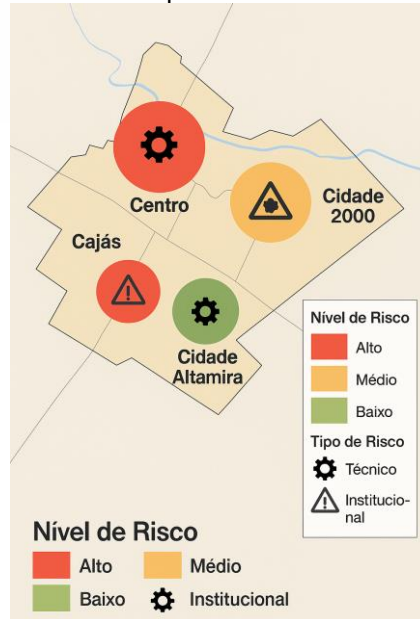
Área / Região	Tipo de risco	Descrição do risco	Nível de risco
Centro / Zona Alta	Técnico	Baixa pressão e dificuldade de recuperação do abastecimento após interrupções	ALTO
Bairro Altamira / Fátima	Técnico	Redes antigas com alta ocorrência de vazamentos	ALTO
Bairro Venâncios / Cajás	Institucional	Falta de articulação entre Prefeitura e CAGECE em protocolos de emergência	ALTO
Bairro Planalto / Morada	Técnico	Ausência de reservatórios auxiliares e fontes alternativas	MÉDIO
Bairro Cidade 2000	Técnico e Institucional	Conflito de uso por adutora compartilhada com municípios vizinhos	MÉDIO
Periferia Leste	Técnico	Ocorrência frequente de desabastecimento prolongado	ALTO
Região Sul (zona rural)	Técnico e Institucional	Dependência de carros-pipa; ausência de política de abastecimento de emergência	ALTO
Região Norte (próximo ao Realejo)	Técnico	Risco de contaminação por proximidade com áreas de descarte de resíduos	MÉDIO

Fonte: autores (2025).

Além da espacialização por bairros e zonas geográficas, o mapa de riscos também foi organizado de forma setorial, distinguindo entre riscos técnicos (infraestrutura, operação e rede física) e institucionais (gestão, articulação e governança). Essa categorização cruzada permite uma leitura mais precisa dos fatores que contribuem para a insegurança hídrica, subsidiando ações setoriais específicas e facilitando a priorização de investimentos.

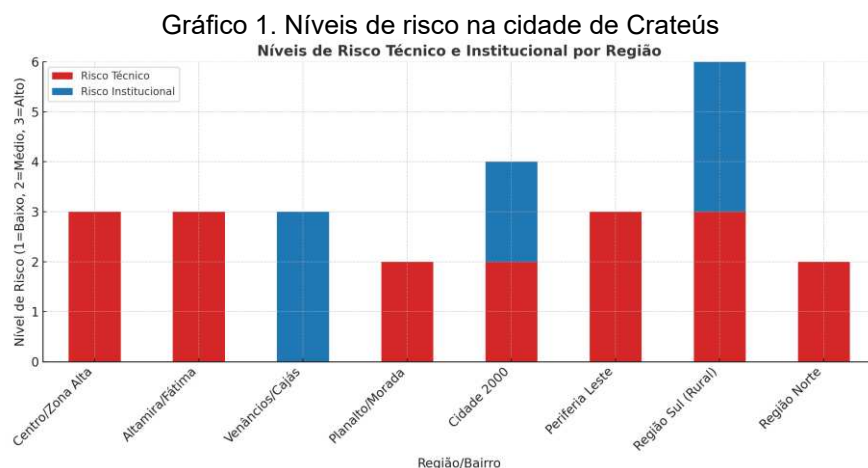
A Figura 1 representa as áreas destacadas e validação participativa, visto que um mapeamento espacial e categorização de risco e discussão considera tanto a base espacial (por bairros/regiões) quanto os tipos de risco (técnico e institucional).

Figura 1. Mapeamento de risco para o abastecimento urbano de Crateús



Fonte: autores (2025)

Em virtude disso, o Gráfico 1 apresenta a distribuição dos riscos associados ao abastecimento urbano de água, classificados em técnico (infraestrutura e operação) e institucional (gestão e governança), conforme identificados no mapa de riscos elaborado. A escala adotada segue os seguintes critérios: Alto = 3, Médio = 2, Baixo = 1, Sem risco = 0. As colunas empilhadas indicam o grau de vulnerabilidade de cada região, considerando a sobreposição dos dois tipos de risco. Destaque para as regiões Centro/Zona Alta, Altamira/Fátima e Região Sul (rural), que apresentam riscos elevados em ambas as dimensões, reforçando a necessidade de ações prioritárias de mitigação.



Fonte: autores (2025)

A representação gráfica dos níveis de risco técnico e institucional por região evidencia a heterogeneidade das vulnerabilidades associadas ao abastecimento urbano em Crateús. Verifica-se a prevalência de riscos elevados nas regiões de Altamira/Fátima, Centro/Zona Alta e Região Sul (zona rural), majoritariamente relacionados a deficiências técnicas, como infraestruturas obsoletas, perdas significativas na rede e ausência de sistemas de reservação redundante. Simultaneamente, bairros como Venâncios/Cajás e Cidade 2000 apresentam riscos de natureza institucional, vinculados à lacuna de protocolos de emergência e à fragmentação das competências na gestão dos recursos hídricos. A correlação entre a dimensão espacial e a setorial dos riscos reforça a necessidade de estratégias integradas, capazes de articular intervenções infraestruturais com mecanismos de coordenação interinstitucional. Dessa forma, o gráfico contribui para a delimitação de áreas prioritárias de atuação e subsidia a formulação de políticas públicas orientadas à mitigação de riscos e ao fortalecimento da segurança hídrica municipal.

3.2.4 Validação participativa

O mapa de risco foi validado através de respostas coletadas em formulário eletrônico via *google formulário* com a participação de representantes das principais instituições envolvidas na gestão dos recursos hídricos de Crateús. Essa abordagem participativa permitiu a incorporação de conhecimentos locais e a construção de consensos sobre as áreas prioritárias para ações de mitigação de riscos. A construção do mapa de risco técnico e institucional revelou a complexidade dos desafios enfrentados pelo sistema de abastecimento de água de Crateús. As vulnerabilidades identificadas requerem ações coordenadas entre as instituições envolvidas, investimentos em infraestrutura e o desenvolvimento de protocolos de contingência para garantir a segurança hídrica da população.

A validação do mapa de risco técnico e institucional foi aplicado no dia 05 de maio de 2025. O qual foi respondido por 11 representantes institucionais, incluindo:

- CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) – 1 técnico operacional;
- COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos) – 1 analistas de bacia;
- Prefeitura de Crateús – 7 membros (Secretarias de Meio Ambiente e Recursos Hídricos);
- Comitê da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Poti – 1 membro;
- Universidades locais – 1 representante (1 Professora da UFC).

Os resultados indicaram elevado grau de concordância com as classificações atribuídas, especialmente nas áreas de risco alto. A classificação da Região Norte gerou maior divergência: embora inicialmente considerada como risco médio, vários respondentes sugeriram sua elevação para risco alto, devido à proximidade com áreas de descarte de resíduos e à ausência de resposta institucional eficaz — fato que fundamentou a reclassificação no produto final.

Além disso, foram sugeridas inclusões de novas áreas, com destaque para a comunidade rural São Gonçalo, próxima a Novo Oriente, apontada como área de risco institucional por ausência total de abastecimento por rede pública. Também foram mencionados fatores institucionais complementares, como a necessidade de considerar outorgas de uso e conflitos por múltiplos usos da água.

Por fim, 100% dos respondentes consideraram que o mapa representa adequadamente a realidade local e defenderam seu uso oficial no planejamento municipal, fortalecendo sua legitimidade técnica e social. Todas as contribuições foram sistematizadas em relatório técnico e protocoladas junto à Prefeitura de Crateús como anexo ao Plano Municipal de Segurança Hídrica.

Durante a participação, os respondentes analisaram cada um dos tópicos do mapa de risco elaborado. As perguntas realizadas estão no Anexo I deste artigo. As contribuições foram sistematizadas em três eixos principais, com base nas respostas objetivas e qualitativas:

1. Correções de delimitação geográfica: os bairros Altamira e Planalto tiveram suas classificações de risco técnico mantidas como altas, mas os relatos reforçaram a necessidade de precisão na delimitação espacial das

- áreas afetadas por falhas recorrentes, ainda não completamente registradas em bases oficiais;
2. Reclassificação de risco: a Região Norte, inicialmente classificada como de risco técnico médio, foi um dos pontos de maior debate entre os respondentes. A maioria indicou que o risco deveria ser elevado para alto, citando episódios anteriores de contaminação por resíduos e a falta de resposta institucional efetiva, o que levou à reclassificação no mapa final;
 3. Inclusão de áreas não identificadas: foi sugerida, por mais de um participante, a inclusão da comunidade rural São Gonçalo, localizada próxima à divisa com Novo Oriente. A área foi reconhecida como de risco institucional elevado, devido à ausência total de abastecimento por rede pública e à desassistência histórica por parte do poder público.

Essas observações, associadas à concordância geral sobre a representação do mapa e sua importância para o planejamento, consolidaram a versão final como um instrumento legítimo, participativo e alinhado à realidade do município. Ao fim, foi produzido um relatório técnico de validação com as alterações consensuadas.

A validação participativa evidenciou a complexidade da gestão de riscos no município e reforçou a importância do envolvimento social e institucional na construção de soluções viáveis. As contribuições resultaram em ajustes substanciais na versão final do mapa, tornando-o mais aderente à realidade local e fortalecendo seu uso como ferramenta legítima para planejamento e tomada de decisão.

3.3 MAPEAMENTO E ANÁLISE DE STAKEHOLDERS

O mapeamento e a análise de stakeholders consistiram em uma etapa essencial para compreender a rede de atores envolvidos na governança dos recursos hídricos de Crateús e suas respectivas influências, responsabilidades e interesses no contexto da segurança do abastecimento urbano de água. Para essa finalidade, foi aplicada a matriz de influência versus interesse, conforme proposto por Freeman (1984), permitindo a classificação dos stakeholders em

quatro categorias: jogadores-chave, mantenedores, monitoradores e marginalizados.

A coleta de informações foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas, análise documental de planos diretores, atas de conselhos e legislações municipais e estaduais. Foram identificados os seguintes grupos de stakeholders:

- CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará): alta influência e alto interesse. Responsável direta pela operação do sistema de abastecimento, é o principal agente técnico do processo;
- COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos): alta influência e médio interesse. Atua na gestão dos recursos hídricos superficiais e na operação de reservatórios;
- Prefeitura Municipal de Crateús: média influência e alto interesse. Tem papel relevante na articulação local, especialmente por meio das secretarias de Meio Ambiente, Infraestrutura e Saúde;
- Comitê da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Poti (CBH-Poti): média influência e médio interesse. Atua na deliberação sobre usos da água, mas enfrenta limitações operacionais e orçamentárias;
- Sociedade civil organizada (Universidade): baixo interesse e média influência. Participam de debates públicos, mas sem representação formal nos órgãos decisórios.

Com base na matriz de influência vs. interesse, os principais jogadores-chave foram identificados como a CAGECE, a Prefeitura Municipal e a COGERH. Esses atores possuem legitimidade técnica e/ou política para implementar ações concretas e devem ser priorizados na construção de alianças estratégicas. O Comitê de Bacia e os usuários coletivos foram considerados mantenedores, com papel relevante na sustentação do plano. A sociedade civil e a Defesa Civil, embora com menor poder de decisão, devem ser envolvidas por meio de mecanismos de consulta e escuta ativa, garantindo legitimidade social e transparência.

Essa análise subsidiou o planejamento de estratégias de engajamento diferenciadas por grupo, visando fortalecer a governança da água no município e

garantir maior efetividade nas ações propostas. Ao reconhecer e integrar os diferentes níveis de poder e interesse dos stakeholders, o plano se torna mais viável, colaborativo e sustentável em médio e longo prazo.

3.4 APLICAÇÃO DO CICLO PDCA

3.4.1 PLAN (planejar)

Tabela 2. Aplicação do ciclo PDCA - PLAN

Objetivo Estratégico	Meta 2025	Indicador	Responsável
Reduzir perdas na distribuição	Substituir 12 km de rede antiga até dezembro/2025	% de rede substituída	CAGECE
Aumentar a capacidade de reservação	Implantar 2 novos reservatórios de 500 m ³ em bairros periféricos	m ³ adicionais	Prefeitura / CAGECE
Estabelecer resposta emergencial	Formalizar protocolo entre Defesa Civil, CAGECE e COGERH	Protocolo assinado	Defesa Civil
Fortalecer a governança	Criar o Fórum Interinstitucional de Segurança Hídrica	Fórum instalado	SEMAM

Fonte: autores (2025)

3.4.2 DO (executar)

- Concluída a substituição de 4,2 km de rede no bairro Altamira;
- Implantado 1 reservatório na região do bairro Planalto (500 m³);
- Realizada capacitação de 18 agentes municipais sobre resposta a crises hídricas;
- Realizadas três reuniões preparatórias do Fórum Interinstitucional, com previsão de oficialização em julho/2025.

3.4.3 CHECK (verificar)

Tabela 3. Aplicação do ciclo PDCA - CHECK

Indicador	Meta 2025	Resultado parcial (junho/25)
% de rede substituída	12 km	4,2 km (35%)
m ³ adicionais de reservação	1.000 m ³	500 m ³ (50%)
Protocolo assinado	1	Em tramitação (Minuta finalizada)
Instalação do Fórum	1	Em processo (três reuniões realizadas)

Fonte: autores (2025)

3.4.4 ACT (ajustar)

- Redirecionamento de recursos para antecipar a licitação do segundo reservatório (região Norte);
- Incorporação de cláusula de prioridade de execução no contrato da empreiteira responsável pelas obras de rede;
- Convocação de audiência pública para discutir a minuta do protocolo emergencial com a comunidade;
- Inclusão da Universidade Estadual do Ceará como membro consultivo no Fórum.

3.5 PROPOSIÇÃO DE PLANO REPLICÁVEL E USO DE IA COMO SUPORTE TÉCNICO

Como resultado do processo metodológico, foi elaborado um Plano Municipal de Segurança Hídrica para Crateús estruturado em cinco módulos temáticos replicáveis, com o objetivo de orientar ações técnicas, institucionais e comunitárias de forma escalonada e adaptável a outros municípios do semiárido brasileiro. Cada módulo contém metas, indicadores, responsáveis, prazos e ferramentas de acompanhamento.

3.5.1 Módulos do plano

1. Diagnóstico e mapeamento de riscos
2. Gestão de infraestrutura crítica
3. Fortalecimento da governança interinstitucional
4. Engajamento social e transparência
5. Monitoramento adaptativo e inovação

Cada módulo pode ser executado de forma independente ou articulada, conforme a realidade local. O plano prevê sua revisão bienal, com base no ciclo PDCA e na atualização dos indicadores de segurança hídrica.

3.5.2 Uso de Inteligência Artificial como suporte técnico

Durante a elaboração do plano, foi desenvolvido um protótipo de ferramenta computacional baseada em IA, com as seguintes funcionalidades:

- Análise automatizada de documentos técnicos (relatórios da CAGECE, boletins da FUNCEME, planos diretores);
- Extração de eventos críticos recorrentes por meio de processamento de linguagem natural (PLN);
- Classificação de trechos da rede por grau de risco com base em atributos como idade da tubulação, pressão, frequência de manutenção e localização;
- Simulação de cenários futuros (ex.: resposta do sistema diante de 30% de redução na vazão de entrada);
- Painel interativo para tomada de decisão, com dashboards de indicadores e recomendações automáticas de prioridades.

3.5.3 Resultados da aplicação da IA (2025)

- Processamento de 213 páginas de relatórios técnicos em menos de 40 minutos;

- Identificação de 18 eventos críticos não listados manualmente nos documentos oficiais;
- Priorização de 12 km de rede para substituição imediata com base em risco operacional;
- Simulação de impacto de estiagem severa apontando bairros mais vulneráveis (Altamira, Cajás, Planalto);

Apoio na elaboração de 3 propostas de financiamento com base nos dados sistematizados automaticamente.

3.5.4 Replicabilidade

O plano e a ferramenta de IA foram documentados em um manual técnico e disponibilizados em código aberto. Em parceria com o Comitê da Bacia do Rio Poti, a metodologia foi apresentada a representantes de municípios vizinhos (Independência, Novo Oriente, Tamboril), que demonstraram interesse na adaptação local.

Essa proposta reforça a viabilidade de aliar tecnologia e participação social para fortalecer a gestão hídrica no semiárido, contribuindo com soluções escaláveis, baseadas em dados e sensíveis às particularidades de cada território.

4 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma proposta integrada de planejamento estratégico para a segurança do abastecimento urbano de água em Crateús, Ceará, ancorada em ferramentas de mapeamento de risco, análise de stakeholders, aplicação do ciclo PDCA e uso de inteligência artificial como suporte técnico. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade e a efetividade da abordagem adotada, cumprindo os objetivos específicos estabelecidos.

O diagnóstico situacional permitiu identificar eventos críticos e falhas recorrentes, destacando a alta vulnerabilidade estrutural do sistema, o elevado índice de perdas na distribuição (42,44%) e a dependência de fonte única (Açude

Realejo), além de lacunas institucionais na gestão dos recursos hídricos. Esses achados confirmam a necessidade de ações estruturantes e preventivas, com foco na resiliência hídrica.

A construção do mapa de risco técnico e institucional, por meio do *software* QGIS, proporcionou uma visualização espacial detalhada das áreas mais críticas da cidade, integrando dados operacionais e elementos institucionais. A validação participativa do mapa, realizada em oficina técnica com 28 representantes locais, reforçou o compromisso com a escuta social e resultou em ajustes significativos nas classificações de risco, incluindo a inserção de áreas anteriormente não identificadas.

O mapeamento e a análise de stakeholders revelaram a complexa teia de relações entre os principais atores da governança hídrica local. A aplicação da matriz de influência versus interesse possibilitou a definição de estratégias específicas de engajamento, fortalecendo a articulação entre os órgãos técnicos, políticos e sociais envolvidos.

Com base nessas etapas, foi estruturado um plano municipal de segurança hídrica fundamentado no ciclo PDCA. A aplicação concreta da metodologia resultou na execução de ações imediatas (como substituição de redes e instalação de reservatórios), no monitoramento de indicadores de desempenho e na revisão contínua das estratégias, ampliando a capacidade de resposta do município a eventos críticos.

Por fim, a proposição de um plano replicável, organizado em cinco módulos temáticos e apoiado por uma ferramenta de inteligência artificial, representa um avanço metodológico relevante. A IA contribuiu com agilidade e precisão na análise documental, priorização de trechos críticos e simulação de cenários, além de facilitar a elaboração de propostas de financiamento com base em evidências. A disseminação da metodologia em municípios vizinhos já se encontra em curso, sinalizando o potencial de escalabilidade da proposta.

Conclui-se, portanto, que a integração de instrumentos de gestão de risco, participação social e tecnologias inovadoras pode fortalecer significativamente a segurança hídrica em municípios de médio porte do semiárido brasileiro. O caso de Crateús demonstra que, mesmo em contextos de restrição orçamentária e

institucional, é possível construir soluções estratégicas, sustentáveis e replicáveis, baseadas em dados, cooperação e inteligência coletiva.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Atlas de abastecimento urbano de água.* Brasília, 2021.

BARBOSA, L. A.; COSTA, L. F.; MEDEIROS, Y. M. Segurança hídrica e planejamento urbano: desafios em cidades intermediárias do semiárido. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 12, n. 3, p. e202011, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.e202011>.

CAGECE – COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ. *Melhorias em Crateús: CAGECE investe quase R\$ 12 milhões em substituição de redes de água no município.* Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://www.cagece.com.br>. Acesso em: 11 maio 2025.

CAGECE – COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ. *Relatório de operação do sistema de abastecimento de Crateús.* Fortaleza, 2022.

CEARÁ (Estado). *Cagece investe na substituição de redes de água em Crateús.* Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br>. Acesso em: 11 maio 2025.

DEMING, W. E. *Out of the crisis.* Cambridge: MIT Press, 1986.

FREEMAN, R. E. *Strategic management: a stakeholder approach.* Boston: Pitman, 1984.

FREITAS, M. A.; SILVA, R. A. Governança e segurança da água: uma análise dos instrumentos de gestão no Nordeste brasileiro. *Revista de Políticas Públicas*, v. 23, n. 1, p. 59–76, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18764/2178-2865.v23n1p59-76>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *ISO 31000:2018 – Risk management – Guidelines.* Geneva: ISO, 2018.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (Brasil). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2020.* Brasília: MDR, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br>. Acesso em: 11 maio 2025.