



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

EDUARDO FELÍCIO BARBOSA

**ADUTORAS DE MONTAGEM RÁPIDA NO CEARÁ: uma análise do cenário de
concepção e o planejamento para a gestão da manutenção**

Recife

2023

EDUARDO FELÍCIO BARBOSA

**ADUTORAS DE MONTAGEM RÁPIDA NO CEARÁ: uma análise do cenário de
concepção e o planejamento para a gestão da manutenção**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Cirilo.

Recife

2023

Catálogo na Fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

B238a	<p>Barbosa, Eduardo Felício. Adutoras de montagem rápida no Ceará: uma análise do cenário de concepção e o planejamento para a gestão da manutenção / Eduardo Felício Barbosa – 2023. 75 f.: il., fig., tab. e siglas.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. José Almir Cirilo. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2023. Inclui Referências, Apêndices e Anexos.</p> <p>1. Gestão e regulação de recursos hídricos. 2. Adutoras de montagem rápida. 3. Manutenção de infraestrutura hídrica. 4. Obras de convivência com as secas. I. Cirilo, José Almir (Orientador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">UFPE</p> <p>333.91 CDD (22. ed.) BCTG/2023-195</p>
-------	--

EDUARDO FELÍCIO BARBOSA

**ADUTORAS DE MONTAGEM RÁPIDA NO CEARÁ: uma análise do cenário de
concepção e o planejamento para a gestão da manutenção**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Aprovada em 19/05/2023.

BANCA EXAMINADORA

Participação por videoconferência
Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência
Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência
Prof. Dr. José Almir Cirilo (Presidente)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho aos meus queridos pais: José Edvane e Antônia Felício. O esforço e o amor de vocês é a base da minha formação pessoal e profissional. Agradeço de mais aos dois por tudo. Tenho muito orgulho de ter vocês como pais. Eu amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, esse projeto é para honra e glória do seu nome, não teria conseguido sem o seu amparo e proteção.

Aos meus pais José Edvane e Antônia Felício, que sempre me apoiaram e incentivaram na realização deste projeto de vida. Obrigado por tudo.

A minha esposa Raiany Braga. Você tem grande participação nesta minha vitória. Obrigado pelo carinho, amor, dedicação e orações.

Ao Prof. Dr. José Almir Cirilo, orientador e amigo, pela ajuda na elaboração do trabalho. Foi uma satisfação e orgulho ser seu orientando. Muito Obrigado!

Aos os colegas de trabalho da COGERH, em especial meu amigo Berthyer Peixoto, pelos conhecimentos compartilhados e todas as ajudas para elaboração deste trabalho.

Aos colegas de Mestrado e professores da UFPE, foi muito satisfatório e proveitoso todos os conhecimentos adquiridos e compartilhados durante esses dois anos.

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE nº2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado.

RESUMO

A seca na região Nordeste iniciada em 2012 trouxe para a sociedade cearense várias estratégias de resposta que foram adotadas pelos municípios. Dentre essas estratégias diversas infraestruturas hídricas foram construídas para minimizar os impactos da seca, entre elas as Adutoras de Montagem Rápida (AMR). Diante disso, percebeu-se que tão importante quanto o investimento para construção dessas infraestruturas hídricas é a manutenção das mesmas, contudo entende-se que os recursos são limitados e o gestor público precisa gastar certo e de forma otimizada, mas para isso ele precisa de ferramentas que lhe auxiliem na tomada de decisão. Nesse sentido, o trabalho coletou registros e projetos que pudessem analisar a concepção das principais adutoras de montagem rápida desenvolvidas como estratégias de mitigação à seca. O intuito de registrar essas ações adotadas é compreender como foi a convivência da sociedade com a seca nesse período. Além disso, esse trabalho buscou apresentar uma metodologia que pudesse definir uma hierarquização na prioridade de investimentos para aplicação de recursos financeiros de manutenção em adutoras de montagem rápida. A base de informações para a metodologia apresentada foram as fichas de inspeções, denominadas de *checklist* e a aplicação de métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM). Ao final, a metodologia conseguiu hierarquizar as adutoras analisadas diante das variáveis vulnerabilidade e importância estratégica, e dessa forma obteve-se a prioridade de investimentos em manutenção.

Palavras-chave: adutoras de montagem rápida; manutenção de infraestrutura hídrica; obras de convivência com as secas.

ABSTRACT

The drought in the Northeast region that started in 2012 brought to Ceará society several response strategies that were adopted by the municipalities. Among these strategies, several water infrastructures were built to minimize the impacts of drought, including the rapid assembly water mains (AMR). In view of this, it was noticed that as important as the investment for the construction of these water infrastructures is their maintenance, however we know that the resources are limited and the public manager needs to spend right and in an optimized way, but for that he needs tools that help him in the decision making. In this sense, the work collected records and projects that could analyze the conception of the main rapid assembly water mains developed as drought mitigation strategies. The purpose of recording these actions is to understand how society lived with the drought during this period. In addition, this work sought to present a methodology that could define a hierarchy in the priority of investments for the application of financial resources for maintenance in water mains of quickly assembly that were built to minimize the impacts of the water crisis. The database for the methodology presented was the formal inspection sheets, called *checklist* and the application of multicriteria decision-making methods (MCDM). In the end, the methodology was able to precisely rank the water mains in terms of their importance and based on vulnerability parameter in order to obtain investment priority.

Keywords: water mains of quickly assembly; maintenance of water infrastructure; works of coexistence with droughts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Volume dos Reservatórios em fevereiro de 2022.....	16
Figura 2 - Volume dos Reservatórios em junho de 2022.	16
Figura 3 - Determinação diâmetros econômicos das adutoras.	21
Figura 4 - Média histórica do volume dos reservatórios.	25
Figura 5 - Ciclo hidro-ilógico.	25
Figura 6 - Tipos de Manutenção.	31
Figura 7 - Mapa Região Hidrográfica Sertão Crateús – AMR Caririaçu	35
Figura 8 - Detalhamento da adutora de Caririaçu.....	36
Figura 9 - Mapa Região Hidrográfica Sertão de Crateús – AMR Crateús.	37
Figura 10 - Detalhamento da adutora de Crateús.	38
Figura 11 - Mapa Região Hidrográfica Metropolitana – AMR Maranguape.....	39
Figura 12 - Detalhamento da adutora de Maranguape.	40
Figura 13 - Mapa Região Hidrográfica Alto Jaguaribe – AMR Tauá.....	41
Figura 14 - Detalhamento da adutora de Tauá.	42
Figura 15 - Mapa Região Hidrográfica Médio Jaguaribe – AMR Potiretama.	43
Figura 16 - Detalhamento da adutora de Potiretama	44
Figura 17 - Mapa Região Hidrográfica Sertão de Crateús – AMR Quiterianópolis.	45
Figura 18 - Detalhamento da adutora de Quiterianópolis.....	46
Figura 19 - Fluxograma da metodologia.	52
Figura 20 - QR Code com os <i>checklist</i> das adutoras.	53
Figura 21 - Adutora de Caririaçu: Aço CORTEN.....	54
Figura 22 - AMR de Crateús: Aço CORTEN	54
Figura 23 - AMR de Crateús: Vazamentos	54
Figura 24 - AMR de Maranguape.....	55
Figura 25 - Adutora de Maranguape: PVC.....	55
Figura 26- AMR de Potiretama: Vazamentos	55
Figura 27 - AMR de Potiretama: Aço CORTEN	55
Figura 28 - AMR de Quiterianópolis: Aço CORTEN.....	56
Figura 29 - AMR de Tauá.....	56
Figura 30 - Adutora de Tauá: FOFO.	56
Figura 31 - Importância estratégica das Adutoras	61
Figura 32 - AMR de Maranguape: Construção.	69

Figura 33 - ETA Amanari: Construção	69
Figura 34- AMR de Caririaçu: Construção	69
Figura 35- AMR de Caririaçu: Construção.	69
Figura 36 - AMR de Crateús: Construção	70
Figura 37 - AMR de Crateús: Construção.	70
Figura 38 - AMR de Poriretama: Construção	70
Figura 39 - AMR de Poriretama: Construção	70
Figura 40 - AMR Quiterianópolis: Construção	70
Figura 41- AMR Quiterianópolis: Construção	70
Figura 42 - AMR de Tauá.....	71
Figura 43 - AMR de Tauá.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Peso das classificações de anomalias (P1)	48
Tabela 2 - Peso das quantidades de anomalias (P2)..	48
Tabela 3 - Estimativa da vulnerabilidade (V) para a adutora X.	49
Tabela 4 - Critérios técnicos das adutoras.	50
Tabela 5 – Escala de comparação de Saaty.	50
Tabela 6 – Exemplo aplicação: Valores de comparação.	51
Tabela 7 - Exemplo de aplicação: Valor modal das células.	51
Tabela 8 - Exemplo aplicação: Peso dos critérios.	51
Tabela 9 - Contratos de manutenção das adutoras.	57
Tabela 10 - Quantidade de Anomalias P, M e G decorrente do checklist.	58
Tabela 11 - Valor modal dos critérios das adutoras.	58
Tabela 12 - Valor peso de cada critério.	59
Tabela 13 - Dados de projetos das adutoras.	59
Tabela 14 - Valores dos critérios em percentual e cálculo do IE.	60
Tabela 15 - Valores indicativos da priorização de investimentos nas adutoras.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMR	Adutora de Montagem Rápida
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
ETA	Estação de Tratamento de Água
GEMAN	Gerência de Manutenção
GESIN	Gerência de Segurança e Infraestruturas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INESP	Instituto de Estudos e Pesquisas para o Desenvolvimento do Estado do Ceará
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
MCDM	Métodos de Tomada de Decisão Multicritério
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PCA	Plano de Correção de Anomalias
PMC	Plano de Manutenção de Custos
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo geral.....	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	ADUTORAS.....	18
2.1.1	Projetos de adutoras	18
2.2	A SECA	22
2.3	ADUTORAS DE MONTAGEM RÁPIDA.....	26
2.4	MANUTENÇÃO	29
2.4.1	Inspecões para manutenção	31
2.4.2	Tomada de decisão para manutenção.....	32
2.4.3	Manutenção de adutoras	33
3	ÁREA DE ESTUDO	35
3.1	ADUTORA DE CARIRIAÇU	35
3.2	ADUTORA DE CRATEÚS	36
3.3	ADUTORA DE MARANGUAPE	38

3.4	ADUTORA DE TAUÁ	40
3.5	ADUTORA DE POTIRETAMA.....	42
3.6	ADUTORA DE QUITERIANÓPOLIS.....	44
4	METODOLOGIA.....	47
4.1	CÁLCULO DO PARÂMETRO VULNERABILIDADE (V)	47
4.2	CÁLCULO DA IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA (IE)	49
4.3	CÁLCULO DA PRIORIDADE DE INVESTIMENTOS (PI).....	52
5	RESULTADOS	53
5.1	PROJETOS E INSPEÇÕES	53
5.1.1	Adutora de Caririaçu	53
5.1.2	Adutora de Crateús	54
5.1.3	Adutora de Maranguape.....	54
5.1.4	Adutora de Potiretama.....	55
5.1.5	Adutora de Quiterianópolis	55
5.1.6	Adutora de Tauá.....	56
5.2	PRIORIDADE PARA APLICAÇÃO DE RECURSOS EM MANUTENÇÃO	56
5.2.1	Vulnerabilidade (V).....	57
5.2.2	Importância Estratégica (IE).....	58
5.2.3	Prioridade de Investimentos (PI)	61
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural limitado e fundamental à vida, ela também é um fator de produção no desenvolvimento econômico da população, sendo limitante para o crescimento urbano, industrial e agrícola. Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos a demanda mundial por água tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 1% ao ano devido ao aumento populacional, ao crescimento econômico e as mudanças nos padrões de consumo (WWAP, 2018).

O cenário observado nos dias atuais, com predominância de escassez hídrica aliado ao crescimento do consumo, mostra o aumento da demanda por água e a diminuição da sua qualidade. Neste sentido, os governos e instituições públicas buscam uma estratégia robusta de adaptação, com o intuito de manter quantitativa e qualitativamente as cidades abastecidas, através da construção de infraestruturas hídricas, do gerenciamento dos recursos hídricos e do gerenciamento do risco climático (SOUZA FILHO, 2012).

O Nordeste, e aqui em especial o estado do Ceará, atravessou de 2012 a 2020 uma das mais severas secas das últimas décadas, com volumes de chuvas insuficientes para recarga hídrica dos reservatórios. Isso esgotou a maior parte das fontes hídricas de suas reservas superficiais e subterrâneas para abastecimento humano da população urbana e da zona rural (SOUSA et al., 2022; MENDES et al., 2021).

Para evitar o colapso no abastecimento de água de sedes municipais o Governo do Estado do Ceará, através da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), implantou diversas medidas emergenciais de combate à seca, uma delas foi a construção de Adutoras de Montagem Rápida (AMR) a partir de outras fontes hídricas mais seguras, distantes das sedes, devido ao esgotamento das fontes hídricas disponíveis (CORTEZ; LIMA; SAKAMOTO, 2017). A construção dessas adutoras foi essencial para garantir a disponibilidade da água para toda a população cearense conforme os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Além dos investimentos em Adutoras de Montagem Rápida, como sendo uma medida estruturante de expansão e melhoria nas suas infraestruturas hídricas, o Estado do Ceará contou também com uma arrojada e eficiente gestão dos recursos hídricos, lançando mão de medidas não estruturais, tal como a participação da sociedade civil organizada como ente da gestão. Todas essas medidas foram fundamentais para garantir a segurança do fornecimento de água para os múltiplos usos, em especial o abastecimento humano, em quantidade e qualidade de forma a minimizar os impactos do último período seco.

A grande dimensão dessas infraestruturas existentes deixa evidente que a maior parte dos gastos públicos no futuro serão necessários não somente para construir, mas também para conservar e manter a operacionalidade dos equipamentos e estruturas em um nível de desempenho adequado de forma a garantir a segurança hídrica.

Sendo assim, garantir a segurança hídrica para os múltiplos usuários é uma atividade basilar para a consolidação de toda a Gestão dos Recursos Hídricos. Falar em segurança hídrica é falar na garantia operacional e manutenção de suas diversas infraestruturas hídricas, e aqui destaca-se as adutoras de montagem rápida.

O custo de implementação de uma estrutura hídrica, quer seja, um canal de adução, uma barragem, uma adutora de água bruta ou uma estação elevatória, não é maior nem mais importante do que o custo de manutenção das mesmas, pois é através de processo eficaz de manutenção que se pode garantir a operacionalidade daquelas estruturas, de forma que se mantenham suas funções junto aos seus múltiplos usuários.

Contudo, sabe-se que a garantia da operação com a devida manutenção exige gastos. Os elevados custos envolvidos e a limitação de recursos financeiros fazem com que seja preciso estabelecer prioridades para execução desses projetos (CAMPOS, CAZARINI E CAMPOS, 2020).

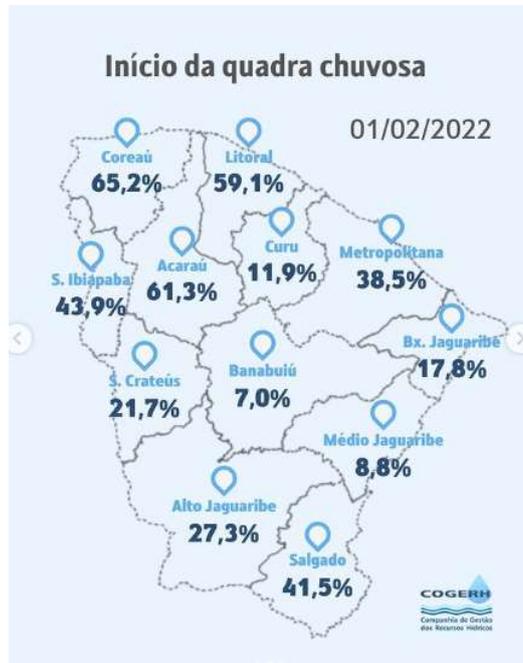
Com isso, percebe-se que a tomada de decisão em alocar reduzidos recursos financeiros diante de uma grande diversidade de estruturas hídricas é um desafio. Portanto, disponibilizar uma ferramenta ou um instrumento metodológico que possa auxiliar o gestor público numa precisa tomada de decisão é essencial para que gere resultados satisfatórios frente a segurança operacional.

1.1 JUSTIFICATIVA

A alternância entre anos secos e chuvosos é uma realidade da região Nordeste e do estado do Ceará, e até mesmo em anos com bons índices pluviométricos uma determinada bacia ou região hidrográfica pode apresentar realidade totalmente diferente no que concerne ao acúmulo de água nos reservatórios e as precipitações totais.

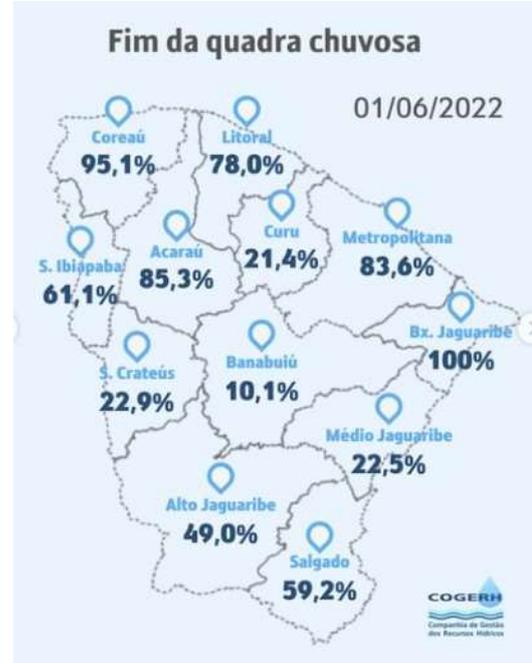
Um exemplo dessa realidade é o que ocorre no ano de 2022 no estado do Ceará, onde por exemplo a bacia hidrográfica do Banabuiú não teve um aporte significativo de água nos reservatórios em comparação com outras bacias hidrográficas como a Bacia Metropolitana, mesmo após a boa quadra chuvosa desse ano para o estado do Ceará (Figuras 1 e 2).

Figura 1 – Vol. dos Reservatórios em 02/2022



Fonte: CEARÁ (2022).

Figura 2 – Vol. dos Reservatórios 06/ 2022



Fonte: CEARÁ (2022).

Assim, diante desses cenários de incertezas e alternâncias entre seca e inverno é importante frisar a importância de uma abordagem detalhada das estratégias utilizadas para o abastecimento de água nos períodos secos, analisando aspectos como projetos de concepção. Esses registros tornam-se uma fonte de dados e informações essenciais para uma melhor gestão de recursos hídricos em secas futuras de forma a minimizar os impactos e tornar a gestão ainda mais eficiente através das experiências passadas.

As adutoras de montagem rápida, como uma dessas estratégias utilizadas durante o período seco, precisam de manutenções periódicas, pois esses sistemas de transferência hídrica são destinados a otimizar a distribuição da água, promovendo a distribuição dos recursos hídricos entre bacias hidrográficas, transpondo água de bacias com maiores disponibilidades hídricas para outras com menor potencial e maior demanda principalmente nos períodos secos. Portanto, diante do cenário de recursos financeiros limitados, por parte do gestor público, ter um programa de manutenção preciso e bem planejado é uma atividade imprescindível e inadiável.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o cenário de concepção dos projetos das adutoras de montagem rápida e subsidiar um planejamento de manutenção para continuidade nos abastecimentos.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar a concepção das principais Adutoras de Montagem Rápida no Ceará;
- b) Avaliar o nível de fragilidade que se encontra as adutoras construídas para minimizar os impactos da crise hídrica;
- c) Desenvolver uma ferramenta metodológica para estabelecer prioridade de investimentos para manutenção de adutoras de montagem rápida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ADUTORAS

Adutoras fazem parte de um conjunto de obras, instalações, equipamentos e serviços, que constitui um complexo de sistemas hidráulicos, destinados a distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população. Esse conjunto de obras denomina-se sistema de abastecimento público de água (FUNASA, 2006).

Dentre esses sistemas de abastecimento público de água é importante destacar três definições como destaca Tsutiya (2006):

- a) Adutora: canalizações que se destinam a conduzir água entre unidades que precedem a rede de distribuição. Interligam captação, estações de tratamento de água e reservatórios, sem distribuir a água ao consumidor final;
- b) Tubulação: conjunto de tubos e conexões que tem a finalidade de transportar água de um ponto a outro;
- c) Rede de distribuição: parte do sistema de abastecimento de água formada por tubulações e acessórios destinados a colocar água potável a disposição dos consumidores de forma contínua em quantidade e pressão adequada.

Segundo Netto (1998) as adutoras, quanto a energia utilizada para a movimentação da água, podem ser do tipo:

- a) Linhas por gravidade: transporta água a partir de um ponto do terreno de nível mais elevado para outro de nível mais baixo;
- b) Linhas de recalque: transporta água de um nível mais baixo para outro nível mais alto com o auxílio de uma estação de bombeamento ou elevatória;
- c) Linhas mistas: que são uma combinação das duas anteriores.

2.1.1 Projetos de adutoras

Segundo Gomes (2009) a metodologia mais adequada para a concepção de uma adutora é aquela que análise os critérios econômicos como um todo de forma a minimizar as grandes quantias de recursos financeiros que são destinadas para os projetos, a implantação, a operação e a manutenção dos sistemas de abastecimento.

Inicialmente determina-se as vazões de projetos que são estabelecidas após um estudo sobre a população que irá ser atendida, o consumo médio de cada habitante e além disso

demandas extras como indústrias e irrigação. As duas principais vazões de projeto consideradas são a vazão de adução e a vazão de distribuição.

Vazão de adução na tubulação que faz a ligação da captação à estação de tratamento de água (ETA), adutora de água bruta:

$$Q_{bruta} = \left(\frac{K1 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_e \right) * C_{ETA} \quad (1)$$

Onde:

$K1$ = coeficiente de maior consumo;

P = população a ser atendida (hab.);

q = consumo per capita (l/hab.*dia);

Q_e = vazão de consumo específico ou demanda extra (l/s);

C_{ETA} = Consumo na ETA.

Vazão de adução na tubulação que parte da ETA ao reservatório de distribuição, adutora de água tratada:

$$Q_{tratada} = \left(\frac{K1 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_e \right) \quad (2)$$

Vazão de distribuição:

$$Q_{distribuida} = \left(\frac{K1 \cdot K2 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_e \right) \quad (3)$$

Onde:

$K2$ = coeficiente da hora de maior consumo;

Após o dimensionamento das vazões uma outra fase de projeto é a escolha do traçado da adutora, essa fase é de extrema importância para evitar complicações devido às variações de pressão como o golpe de aríete, por exemplo, Porto (2006).

Segundo Tsutiya (2006), a linha piezométrica é utilizada como referencial para estabelecer a escolha dentre os possíveis caminhamentos existentes, de preferência ela deve estar acima da geratriz superior do conduto em qualquer condição de operação, pois assim evitam-se pressões muito altas que afetam os custos de implantação. A linha piezométrica é formada pelos pontos de energia de pressão com energia de posição que são conhecidos a partir da trajetória do líquido conforme a equação de energia:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{12} \quad (4)$$

Onde:

P/γ = energia de pressão;

Z = energia de posição;

$V^2/2g$ = energia de cinética;

ΔH = perda de carga.

Porto (2006) define dois tipos de perda de carga: a distribuída e a localizada. A perda de carga distribuída ou unitária é caracterizada devido ao atrito entre o líquido e a parede da tubulação, conforme a fórmula universal ou Darcy-Weisbach:

$$\Delta H = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

Onde:

ΔH = perda de carga;

f = coeficiente de atrito;

L = comprimento da tubulação

D = diâmetro da tubulação;

V = velocidade média;

g = aceleração da gravidade.

A perda de carga localizada, por sua vez são geradas devido a utilização de acessórios ou conexões na qual altera a uniformidade do escoamento. Em geral, utiliza-se uma equação para perda de carga localizada que foi estabelecida por meio de experimentos conforme a equação a seguir:

$$\Delta h = K_L * \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Onde:

Δh = perda de carga localizada;

K_L = coeficiente adimensional;

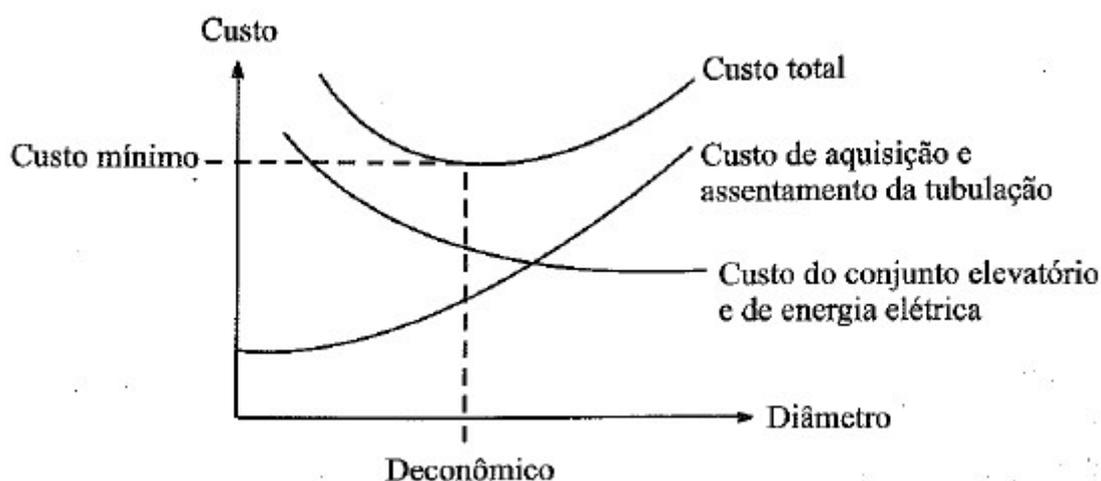
V = velocidade média;

g = aceleração da gravidade.

Para o estabelecimento dos diâmetros dos trechos analisa-se critérios técnicos e econômicos. Diâmetros maiores proporcionam menores velocidades de escoamento, menores perdas de carga, implicando em maiores gastos na tubulação e menores custos com bombas, motores e energia para acioná-los, devido às alturas manométricas mais reduzidas. No caso contrário, os diâmetros menores reduzem o custo da tubulação, elevando a altura manométrica

e, conseqüentemente, acarretam maiores gastos com bombas, motores e energia. A escolha do diâmetro adequado baseia-se em uma avaliação econômica, procurando o custo anual total mínimo, em termos de valor presente, considerando o custo anual fixo, decorrente do investimento inicial, e o custo anual variável, decorrente do bombeamento (energia para operação) e manutenção, principalmente. A Figura 3 apresentada a seguir ilustra o procedimento anteriormente referido (TSUTIYA,2006).

Figura 3 – Determinação diâmetros econômicos das adutoras



Fonte: Tsutiya (2006).

Os projetos de adutoras são essenciais para a garantia da segurança hídrica, visto a vulnerabilidade das captações de alguns sistemas adutores existentes situadas a fio d'água nos rios perenizados pelos reservatórios. Tais captações necessitam, por parte dos reservatórios, da liberação de vazões muito superiores às demandas dos núcleos urbanos atendidos, tendo em vista as perdas em trânsito e o consumo dos demais usos ao longo da perenização, como a irrigação. Este tipo de operação, em época de secas prolongadas, fica muito restrita e até suspensa o que compromete o funcionamento destas adutoras existentes e gera sérios conflitos de uso, pois a prioridade de atendimento é o abastecimento humano, reduzindo a oferta para os outros usos.

2.2 A SECA

A seca acontece com extensão regional, sendo um evento natural em que a disponibilidade de água está abaixo da média devido à variabilidade climática, resultante do desvio na frequência de chuva e/ou taxas de evaporação altas, afetando principalmente a umidade no solo e a diminuição da taxa de produção agropecuária, bem como a deficiência na recarga das reservas superficiais e subterrâneas (ALVALÁ et al., 2019).

Segundo Campos (1994), existem três tipos de seca: a seca climatológica, edáfica e hidrológica, na qual a seca climatológica refere-se à deficiência na precipitação, a edáfica quando diz respeito a deficiência de umidade no solo e a hidrológica quando se refere à deficiência na oferta para a recarga de reservatórios e mananciais.

A seca como destaca Souza Filho (2012) está ligada ao problema geral dos recursos hídricos (água tanta, tão pouca, tão suja e tão cara), principalmente para as comunidades rurais distantes dos centros urbanos. As crises econômicas e sociais que a seca ocasiona na região Nordeste não é recente, ela é um problema cíclico que influencia historicamente a vida do povo nordestino e se demonstra sobre diversas perspectivas ao longo da história (NUNES; MEDEIROS, 2020; MARENGO et al., 2020).

A seca no Nordeste como ressalta Magalhães (2016) é influenciada principalmente pelas características físicas e climáticas da região. A caracterização climática, por exemplo, está relacionada principalmente com os fenômenos meteorológicos que acontecem simultaneamente ou não sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical, como o Lã Ninã e El Niño. Além disso, outro fator que influencia no clima da região é a variação da TSM (Temperatura da superfície do mar) que está associada ao deslocamento meridional da ZCIT (Zona de convergência intertropical). A variabilidade nas temperaturas do Dipolo do Atlântico ocasiona uma variabilidade no posicionamento da ZCIT, o aquecimento de forma diferenciada no começo do ano das águas do Oceano Atlântico Sul em relação as águas do Oceano Atlântico Norte fazem com que a ZCIT se desloque para a porção mais ao sul da linha do equador afetando diretamente as chuvas na região Nordeste (LUCENA; GOMES FILHO; SERVAIN, 2011).

O clima predominante na região é o semiárido, caracterizado pela existência de uma estação chuvosa de menor duração e outra seca mais prolongada. Tais características, ao lado da acentuada irregularidade do ritmo das chuvas no tempo e no espaço, singularizam o regime pluviométrico da região, trazendo fortes interferências no regime hidrológico dos cursos d'água. A região apresenta pluviometria média anual inferior aos 800 mm, concentrada no primeiro semestre e evapotranspiração acima de 2000 mm/ano (MOSCATI E GAN, 2007).

Além disso, a região semiárida é formada por rios intermitentes, ou seja, que só se conservam durante o período chuvoso, implicando na diminuição da disponibilidade hídrica e no baixo rendimento de reservatórios. Essa região, como destaca Cirilo (2015), possui a maior desigualdade entre produção hídrica e densidade demográfica.

O embasamento cristalino também é outra característica que afeta em demasia a disponibilidade hídrica e também a qualidade desse recurso, pois geralmente a água apresenta índices elevados de salinização. Esse tipo de formação está presente em 70% da região semiárida e se caracteriza como um solo raso com uma baixa capacidade de infiltração, drenagem natural reduzida e conseqüentemente um alto escoamento superficial, dificultando o armazenamento de água que possibilite em termos de quantidade a perenização de rios bem como a exploração de água subterrânea, (CIRILO, 2008).

Impulsionado por esta vulnerabilidade de recursos hídricos, desde as duas últimas décadas do século XX o Estado do Ceará tem avançado sensivelmente no gerenciamento e desenvolvimento do seu Sistema de Recursos Hídricos. Este desenvolvimento teve como arcabouço a criação em 1987 da Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) através da lei nº. 11.306/1987 na qual compete promover o uso racional e integrado dos recursos hídricos do Estado. No mesmo ano com o papel de órgão executor de obras hídricas voltada para construções de infraestruturas foi criada a Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA), através da Lei nº 11.380/1987. Em 1993 foi criada a COGERH pela lei nº. 12.217/1993 empresa pioneira na gestão de Água Bruta no Brasil, com o objetivo de implantar o gerenciamento da oferta de água superficial e subterrânea do estado além de priorizar o uso racional da água.

Nos últimos anos o estado do Ceará, mesmo com sua eficiente gestão dos recursos hídricos sofre em demasia com os efeitos da seca plurianual iniciada em 2012 e que se perdurou até 2020 para algumas bacias hidrográficas e até mesmo para o ano de 2022 em algumas regiões do estado. Essa seca é vista por muitos autores como a seca mais grave em décadas, ou até mesmo dos últimos 50 a 100 anos o que resultou em impactos sociais, ambientais e econômicos. Cortez, Lima e Sakamoto (2017) relata os prejuízos da referida seca para o estado do Ceará na agricultura que sofreu percas de plantio, nos setores agropecuário, pesqueiro e turístico, impactos esses que afetaram a sociedade principalmente no aumento do desemprego e no desabastecimento de água.

Esses impactos associados são o resultado de numerosos fatores climáticos e uma ampla gama de fatores sociais que definem o nível de resiliência. Crescimento e redistribuição da população, mudanças no consumo e na produção são fatores que definem a vulnerabilidade de uma região (BRITO et al., 2021).

Em termos de impactos, nos períodos de seca, as pequenas comunidades rurais são as primeiras e as que mais são afetadas com a redução no abastecimento de água, uma vez que a maioria não conta com fontes hídricas de capacidade plurianual, além de explorar atividades econômicas diretamente dependentes das chuvas, como a agricultura de sequeiro e a pecuária (CORTEZ; LIMA; SAKAMOTO, 2017).

De modo a propor medidas para mitigar os impactos da seca, diversas ações têm sido desenvolvidas pelo governo do Estado do Ceará. Algumas ações estruturais de forma emergencial como por exemplo a perfuração de poços, instalação de adutoras de aço CORTEN, operação carro-pipa, entre outras iniciativas. Outras medidas não estruturais e voltadas para a gestão como por exemplo a criação do Grupo de Contingência, composto por representantes dos órgãos estaduais ligados à temática de recursos hídricos (CORTEZ; LIMA; SAKAMOTO, 2017).

No estado do Ceará, o desenvolvimento de infraestrutura de combate aos efeitos da seca se materializou numa política de açudagem. A capacidade atual de armazenamento do estado é de 18,9 bilhões de metros cúbicos, com os cinco maiores reservatórios Castanhão (6,7 bilhões de m³), Orós (1,9 bilhões de m³), Banabuiú (1,6 bilhões de m³), Araras (0,89 bilhões de m³) e Figueiredo (0,52 bilhões de m³), representando 61% da capacidade (SOUZA FILHO, 2018).

No Ceará são monitorados pela (COGERH) 155 reservatórios, a grande maioria dos açudes estiverem durante a maior parte do último período de seca datado desde 2012 com seu volume em índices críticos, exceto para os anos de 2012 e 2013 que embora não tenha ocorrido seca hidrológica devido as cheias de 2011 houve seca climatológica extrema de baixas precipitações. Com base nos dados obtidos no portal hidrológico da COGERH, é possível perceber a evolução da porcentagem de água acumulada dos reservatórios cearenses tendo como base o volume mencionado de 18.9 bilhões de m³ de água (Figura 4).

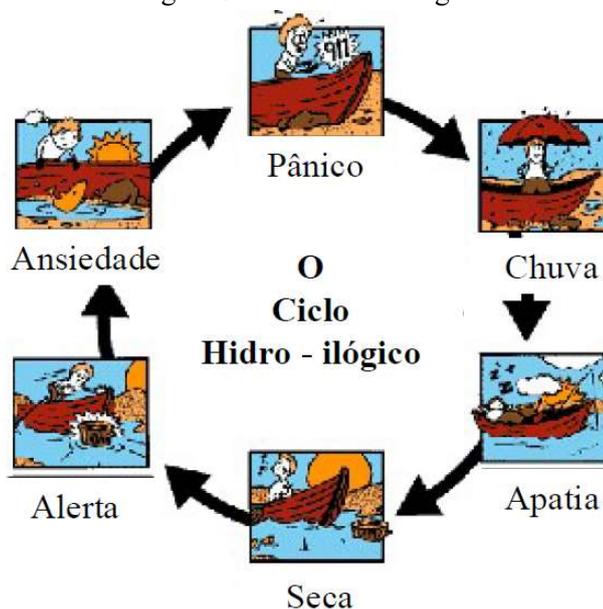
Figura 4 - Média histórica do volume dos reservatórios



Fonte: O Autor (2023).

É válido ressaltar que embora havendo precipitações mínimas em 2012 e 2013 não houve no Ceará um alerta para a sociedade sobre o risco de seca, principalmente pelo fato de os reservatórios estarem com reservas consideráveis. Assim, as principais ações de minimização dos impactos da crise hídrica só começaram a ser iniciadas de forma mais abrangente e efetiva em 2014 de forma reativa. Esse comportamento dos gestores e da sociedade frente ao período de seca é conhecido como ciclo hidro-ilógico (WILHITE; HAYES; KNUTSON, 2005) onde o problema da seca só entra em destaque em situações de proximidade de um colapso dos recursos hídricos, não havendo uma gestão de risco através da aplicação de medidas de preparação e mitigação típicas de uma política de seca (Figura 5).

Figura 5 - Ciclo hidro-ilógico



Fonte: Wilhite et al, 2005.

Segundo Wilhite, Hayes e Knutson (2005) essa política de planos de preparação para seca está focada em identificar onde existem vulnerabilidades (setores específicos, regiões, comunidades ou grupos populacionais) e aborda esses riscos através da implementação sistemática de medidas de mitigação e adaptação que diminuirá o risco de futuros eventos de seca. Dessa forma caso tivesse sido implementada uma política de gestão de secas os impactos seriam menores.

2.3 ADUTORAS DE MONTAGEM RÁPIDA

O programa de Adutoras de Montagem Rápida no Ceará iniciou-se em 2013, caracterizam-se por usar tubo de aço CORTEN e foi esse inovador programa que evitou o colapso de muitas sedes municipais. Em virtude da severidade das estiagens com início no ano de 2012 e da forte pressão da população afetada, os projetos utilizados para contratação das obras foram elaborados num período bastante curto e sem estudos básicos (topografia e geotecnia) adequados às necessidades ideais para detalhamento das obras. Em decorrência deste fato, diversos quantitativos tiveram que ser ajustados a realidade da implantação. Além disso é válido destacar a inexistência de projetos e a execução de proteção catódica para essas adutoras.

As adutoras de montagem rápida foram executadas de forma emergencial para amenizar os impactos da seca de municípios que estavam perto do colapso hídrico, a sua execução portanto ocorreu de forma rápida, algumas em períodos de dois ou três meses, justificando assim a escolha do aço CORTEN, na época vista como a melhor escolha. Para se ter uma noção da rapidez das execuções, adutoras como a de Crateús com 155,6 km de extensão foi executada em um período de aproximadamente 160 dias.

Contudo, foi percebido no decorrer desses anos que o aço CORTEN exige altos investimentos em manutenção, havendo a necessidade de substituição de tubos e acoplamentos em trechos críticos com a presença de muitos vazamentos, essa substituição é recorrente e houve até mesmo a necessidade de substituição total dos tubos de aço CORTEN por ferro fundido ou PVC para garantir a continuidade do abastecimento em algumas adutoras.

Até a presente data muitos órgãos estaduais de fiscalização investigam as causas desse deterioramento acelerado das tubulações. Segundo o relatório da Controladoria Geral da União (UNIÃO, 2018) uma das justificativas apresentada foi a falta de pilares de sustentação e o contato direto das adutoras com o solo, contribuindo para reduzir a vida útil dessas adutoras.

O aço CORTEN, também conhecido como aço de intemperismo (WS) é um aço de baixa liga de alta resistência que consiste em cobre, cromo, fósforo, silício e níquel (RAJA et al., 2021).

Os aços patináveis (CORTEN) são aços que contêm pequenas adições de elementos de liga que em determinadas condições ambientais contribuem para a formação de uma pátina que protege esses aços da ação corrosiva na atmosfera oxidante de muitos ambientes urbanos. Além de conferir considerável resistência à corrosão atmosférica, esses elementos de liga também contribuem para a melhoria de propriedades mecânicas (como o limite de resistência ao escoamento e o limite de resistência à tração). Além da presença de elementos de liga, a natureza química das condições ambientais também tem um efeito significativo na formação da camada defensiva e, portanto, resultando em redução da taxa de corrosão (RAJA et al., 2021).

Os principais tipos de aço patináveis disponíveis no mercado são os aços “COR-TEN A” (que recebeu a designação ASTM A 242) de uso arquitetônico, “COR-TEN B” (ASTM A 588) de uso estrutural e ASTM A 606 para chapas finas (MORCILLO; CHICO; DÍAZ, 2013).

A escolha por esse tipo de tubo se deu pelo fato de o mesmo apresentar grande resistência à corrosão atmosférica, por isso eles são montados sobre pilaretes na superfície do terreno, dispensando assim a abertura de valas, permitindo uma alta eficiência de montagem com pouca mão de obra e equipamentos.

É importante destacar que com o passar do tempo a taxa de corrosão dos referidos tubos vai decrescendo, pois, a reação da exposição da atmosfera com as ligas de cobre, cromo, níquel e fósforo que compõem o citado tubo formam a patina de cor avermelhada, que possui a capacidade de formar um revestimento protetor leve, estável, adesivo e protetor durante o período de exposição, fazendo assim que o aço CORTEN apresente uma resistência à corrosão comparativamente mais alta do que o aço carbono em muitos tipos de atmosfera (MORCILLO; CHICO; DÍAZ, 2013).

No entanto, essa camada protetora não será formada caso o tubo esteja enterrado e sem a proteção de algum esmalte (alcatrão de hulha). Nesta condição, o que se tem é uma situação inversa, ou seja, a aceleração do processo de deterioração do tubo (MORCILLO; CHICO; DÍAZ, 2013).

A implementação das AMR's no Ceará foi dividida em quatro fases iniciadas em 2013, as fases I e II com recursos do Estado e do Ministério da Integração Nacional contemplando uma população de mais de 470 mil habitantes e um custo estimado de 48 milhões de reais foram implementadas em 2013. A fase III com início em 2014 também foi custeada pelo Ministério da Integração Nacional em parceria com o governo do Estado do Ceará e executadas pela

COGERH abrangendo uma população de mais de 280 mil habitantes e um custo estimado de 150 milhões de reais. A fase IV foi realizada em 2014 beneficiando uma população de mais de 100 mil habitantes e um custo estimado de 50 milhões de reais. (CORTEZ; LIMA; SAKAMOTO, 2017).

Cabe aqui destacar que as ações de concepção dos sistemas adutores no período da seca no estado do Ceará tiveram objetivos múltiplos intimamente relacionados com a gestão de recursos hídricos e diretamente associadas aos seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU,2015):

- a) ODS 6: aborda questões relacionadas à gestão sustentável da água e ao saneamento para todos:
 - Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos;
 - Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água;
 - Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado.
- b) Objetivo 9: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação:
 - Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos.
- c) Objetivo 13: Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos:
 - Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países;
 - Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais.

Esses objetivos foram cumpridos pois devido as mudanças climáticas e seus impactos (ODS 13) os órgãos públicos do Estado do Ceará construíram infraestruturas (ODS 9) de forma a garantir o acesso à água as populações (ODS 6). Essas ações do Estado do Ceará foram

essenciais para assegurar a gestão sustentável da água e saneamento para todos, conforme objetivado pelo ODS 6.

Outros estados como o Rio Grande do Norte também adotaram o uso de adutoras de montagem rápida como medidas de mitigação a seca. Oliveira (2020) ressalta a construção de uma adutora de montagem rápida de Pau dos Ferros com captação no reservatório de Santa Cruz de Apodi, inaugurada em novembro de 2014 com extensão de 40 quilômetros com tubos de 300 mm, uma vazão média de 220 metros cúbicos por hora e um investimento de R\$ 13,5 milhões.

Medeiros e Brito (2017) também destacam a execução de adutoras de montagem rápida como uma estratégia de minimização dos impactos da seca no estado da Paraíba, essas adutoras como destaca os autores foram essenciais para atendimento de emergência das comunidades carente e de sedes de municípios com sistemas em colapso.

2.4 MANUTENÇÃO

Em consonância com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, NBR- 5462 (2004), define-se manutenção como a “Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinada a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desenvolver uma função requerida”. Atualmente, o conceito de manutenção em si foi estendido, como resultado, surgiram alguns tipos de manutenção dentre as quais pode-se citar a manutenção corretiva, a manutenção preventiva e a manutenção preditiva definidas a seguir:

- a) **Manutenção Corretiva:** Segundo a NBR 5462 (2004), trata-se da “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. É o tipo mais comum de manutenção, envolve todas as ações de manutenção não planejadas e executadas após uma falha do sistema. De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2002), é conhecida como “*Run To Failure*” (RTF), ou seja, operar até quebrar. Nesse contexto, por ter uma filosofia reativa, apesar de simples, apresenta custos elevados associados a: estoque de peças sobressalentes, trabalho extra, custo de ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção. E os custos tendem a aumentar caso o tempo de reação se prolongue, seja por falha da equipe de manutenção, seja por falta de peça de reposição (MOBLEY,2002).

- b) **Manutenção Preventiva:** Consiste em um programa de inspeções periódicas nos elementos, como o nome sugere é uma manutenção que tem como objetivo prevenir a falha do equipamento durante a operação de forma a atuar nas causas geradoras das falhas. A determinação do tempo correto de parar a manutenção é de grande importância já que a realização de manutenções desnecessárias ou realizado muito antes do necessário, podem comprometer e/ou encarecer a produção desperdiçando peças e trabalho (MOBLEY,2002).
- c) **Manutenção Preditiva:** Ação de manutenção onde se procura realizar o acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o instante ótimo da intervenção (OTANI; MACHADO, 2008). Baseia-se em prevenir falhas através do monitoramento de parâmetros ou variáveis que indique a condição do equipamento. Quando se opta por fazer a intervenção, descoberta através de manutenção preditiva, realizar-se-á uma manutenção corretiva planejada, já que a falha foi previamente encontrada.

Slack et al. (1999) argumentam que cada prática de manutenção é adequada para diferentes situações, como está exibido na Figura 6. A manutenção corretiva, por exemplo, é usada normalmente em três circunstâncias:

- a) Quando o reparo é fácil, logo a consequência da falha é pequena;
- b) Quando a manutenção preventiva é muito cara;
- c) Quando a falha não é previsível de nenhuma forma.

A manutenção preventiva é indicada nos casos em que o custo da falha é alto, devido, por exemplo, às paralisações do abastecimento. E quando a falha não é totalmente aleatória, de modo que o momento da intervenção pode ser programado antes que a falha se torne muito provável.

Figura 6 – Tipos de Manutenção



Fonte: Adaptado de SLACK et al. (1999).

Adutoras, assim como demais estruturas, o envelhecimento é considerado um processo natural, sendo susceptível ao surgimento de falhas (qualquer fenômeno que ocasione uma deficiência em termos de pressão e vazão nas redes hidráulicas). As falhas podem ser mecânicas ou hidráulicas. As falhas hidráulicas são decorrentes de fatores como o aumento na demanda dos nós (crescimento populacional), o aumento da rugosidade das tubulações (idade das redes), os vazamentos distribuídos (construção, tráfego, solo, dentre outros) e a falta de energia elétrica. Por outro lado, as falhas mecânicas são decorrentes de quebras de componentes hidráulicos como bombas, válvulas e tubulações. As causas mais comuns são as pressões elevadas (interrupções da rede e transientes hidráulicos), os eventos catastróficos, defeitos nos componentes e ainda tensões elevadas, como por exemplo, aquelas ocasionadas pelo tráfego sob o sistema (TSUTIYA,2006).

O controle dessas falhas assume grande importância durante a fase de utilização, uma vez que permite prolongar a vida útil técnica dessas infraestruturas, de forma que os níveis de risco sejam aceitáveis e com custos que não extrapolem o valor patrimonial. Além disso a implementação de uma manutenção planejada é de grande relevância para um planejamento mais eficiente, a um custo menor, com menores impactos para operação e aumento da durabilidade dos equipamentos (VIANA, 2002; BRANCO FILHO,2008).

2.4.1 Inspeções para manutenção

Na manutenção preventiva o objetivo é que os componentes sejam reparados ou trocados antes de suas falhas iminentes sem causar qualquer perda não planejada de produção.

O momento adequado para a remediação pode ser decidido com base no diagnóstico, inspeções e conhecimento sobre o status dos componentes (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Uma ferramenta de gestão eficiente que auxilia ações de uma manutenção corretiva e também uma manutenção preventiva é uso de fichas de avaliação ou fichas de inspeção ou *checklist*. Para barragens, por exemplo, a lei 12.334, de 20 de setembro de 2010 estabelece no seu artigo oitavo que manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento compreendem como informação essencial para um plano de segurança de barragens. Esses roteiros de inspeções devem ser elaborados e aplicados para as diversas infraestruturas hídricas como, por exemplo, para adutoras com a finalidade de abranger riscos e incertezas para o mecanismo de alocação de água.

A inspeção é feita a partir de uma aplicação de uma ficha formal denominada *checklist* para observar a abrangência dos elementos físicos e visíveis das infraestruturas hídricas. O *checklist* é uma ferramenta de gestão eficiente que identifica anomalias, classificando-as em magnitude, servindo de base para nortear as ações corretivas do Plano de Correção de Anomalias (PCA), bem como para estimar o orçamento do Plano de Manutenção de Custos (PMC).

O seu objetivo é uma avaliar e determinar as condições relativas à segurança estrutural e operacional. A avaliação deve identificar as anomalias e recomendar tanto os reparos corretivos, restrições operacionais e/ou modificações quanto às análises e os estudos para determinar as soluções para os problemas (FONTENELLE,2007).

Segundo Fontenelle 2007, de acordo com o número de anomalias observadas nas inspeções é necessário que seja estabelecida uma sistemática para priorização e descentralização das ações de manutenção. São verificadas as condições relativas à segurança estrutural e operacional da infraestrutura e assim são apontados os estudos para determinar as soluções e os reparos corretivos.

2.4.2 Tomada de decisão para manutenção

A tomada de decisão é um processo que busca os melhores resultados e a melhor avaliação diante de uma diversidade de situações e de diversos critérios estudados, para isso é necessário um tratamento qualificado e a utilização de métodos de apoio à decisão (SOARES, 2004).

A busca de um exitoso processo de manutenção, quer seja, corretiva ou preventiva, diante de cenários de limitação de recursos e de uma diversidade de infraestruturas hídricas

caracteriza um processo de tomada de decisão. Para isso o uso de métodos que auxiliem essa decisão é fundamental.

As aplicações de métodos multicritério na gestão de recursos hídricos são diversas, Tscheikner-Gratl et al. (2017) propuseram uma metodologia para priorização de reabilitação de infraestrutura hídrica baseado em métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM). Esses autores testaram 5 métodos MCDM e concluíram que o método multicritério de Análise Hierárquica de Pesos (AHP) deu resultado satisfatório para a definição de um modelo de priorização de reabilitação em redes urbanas de água.

O método Analytical Hierarchy Process (AHP) se caracteriza por fazer uma descrição do problema hierarquizando critérios e utilizando uma escala de razão, usando comparações par a par (SAATY,1977). De acordo com Saaty (1977), o método AHP quando aplicado na tomada de decisão auxilia na definição de prioridades, através da decomposição de um complexo problema em uma estrutura hierárquica de vários níveis contendo critérios, subcritérios e alternativas.

O AHP é a maneira científica de fazer comparações obtendo como resultado um valor de importância relativa atribuído aos critérios, conforme uma escala pré-definida de prioridade. Esta escala de valores auxilia para indicar a predominância de um critério sobre outro, em relação à decisão a ser tomada (SAATY, 1977).

2.4.3 Manutenção de adutoras

Al-Barqawi e Zayed (2008) afirmaram que 59% dos sistemas canadenses de distribuição de água exigiram reabilitação, dos quais 43% encontravam-se em condições tecnicamente precárias, mostrando uma fragilidade no processo decisório de investimentos em manutenção.

Não existe uma metodologia padronizada para fazer uma análise da condição de adutoras, o que se tem na metodologia são as avaliações indiretas da condição de operacionalidade dessas infraestruturas. A avaliação da condição pode ser definida como “um processo de medição da condição física dos elementos do sistema usando critérios objetivos e subjetivos. O processo deve considerar a segurança e integridade estrutural, capacidade, qualidade dos serviços, função dentro do sistema, idade etc.” (RAHMAN; ZAYED, 2009).

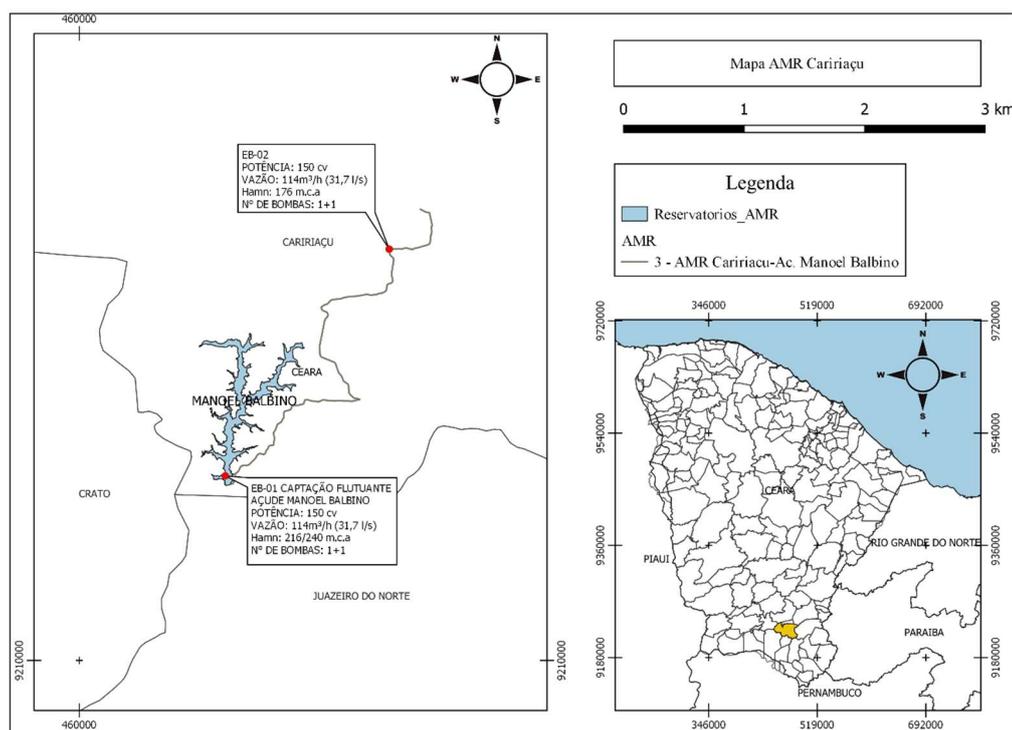
Kleiner e Rajani (2002) afirma que a taxa de ruptura e a deterioração da rede de água são afetadas por vários fatores. Esses fatores incluem características operacionais, ambientais e físicas. Os autores dividem os fatores que causam a deterioração da adutora em:

- a) fatores estáticos - invariáveis ao longo do tempo (por exemplo, material do tubo, diâmetro do tubo, espessura da parede do tubo, propriedades do solo, método de assentamento);
- b) fatores dinâmicos - estão relacionados ao ambiente que afeta o tubo (por exemplo, idade, propriedades do solo, solo e água, temperatura, umidade, resistência elétrica, carga dinâmica);
- c) fatores operacionais – ou seja, a taxa de renovação, proteção catódica, pressão da água.

A Adutora de Caririáçu foi concebida em aço patinável (aço CORTEN) com tubos **DN 200 mm**, tem uma **extensão de aproximadamente 13,07 km** e conta com dois bombeamentos vencendo uma altura de 450.m. O custo total do sistema foi de **R\$ 4.650.034,60**. Em 2010 a população urbana do município correspondia a 14.031 habitantes. Assim, considerando o seu caráter eminentemente emergencial, ou seja, sem previsão de crescimento populacional, a soma das populações urbanas e das comunidades rurais dispersas ao longo da adutora, correspondendo a uma população total de **15.098 habitantes**.

A captação é feita por meio de estação flutuante no Açude Manoel Balbino (Açude dos Carneiros), instalada em plataforma flutuante, aproximadamente nas coordenadas UTM 339116-E 9606197-N (SAD69), aduzindo uma vazão de **31,7 l/s** até a Estação de Bombeamento EB-02. Esta, por sua vez, recalca a mesma vazão até a ETA da Cidade de Caririáçu (Figura 8).

Figura 8 – Detalhamento da adutora de Caririáçu



Fonte: O Autor (2023) segundo dados do “As Built”.

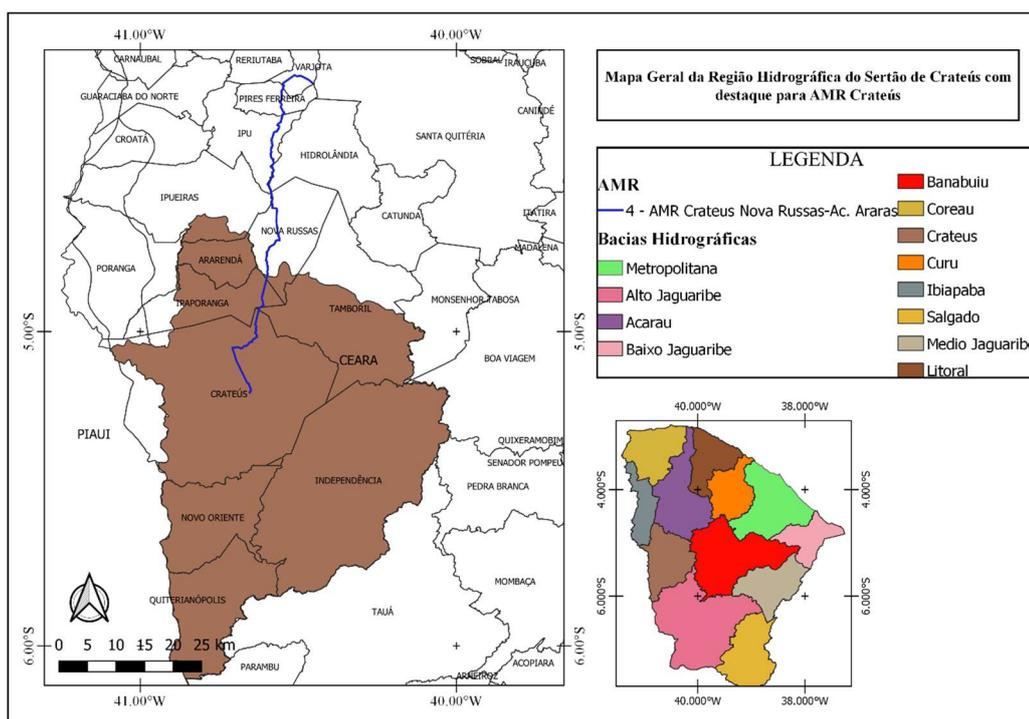
3.2 ADUTORA DE CRATEÚS

O município de Crateús está situado na Macrorregião do Sertão dos Inhamuns, conforme as macrorregiões de planejamento do IPECE (2016). O principal acesso à sede municipal do município de Crateús, a partir de Fortaleza, é através da BR – 020, CE – 257, CE -176, CE -

266 e BR 403/404 totalizando um percurso de aproximadamente 350 km. Já o município de Nova Russas também está situado na Macrorregião do Sertão dos Inhamuns. O acesso principal à sede do município de Nova Russas, a partir de Fortaleza, é feito pela rodovia BR – 020, CE – 257, CE – 176 e CE – 265 totalizando uma extensão de aproximadamente 305 km.

A adutora de Crateús está localizada em parte na Região Hidrográfica do Acaraú até o município de Nova Russas, cuja as características dessa região já foram comentadas para a adutora de Alcântaras (CEARÁ,2009). A segunda parte da adutora que corresponde do município de Nova Russas ao município de Crateús está compreendida na Região Hidrográfica dos Sertões de Crateús que têm área de contribuição de 10.821 Km², pertencendo a rede de drenagem do Rio Poti. A oferta hídrica da bacia dos Sertões de Crateús é propiciada basicamente por 10 (dez) reservatórios gerenciados pela COGERH, que apesar da boa qualidade da gestão, não evite que, na ocorrência prolongada de anos secos consecutivos, estes reservatórios não atendam plenamente à necessidade hídrica (Figura 9).

Figura 9 – Mapa Região Hidrográfica Sertão Crateús– AMR Crateús



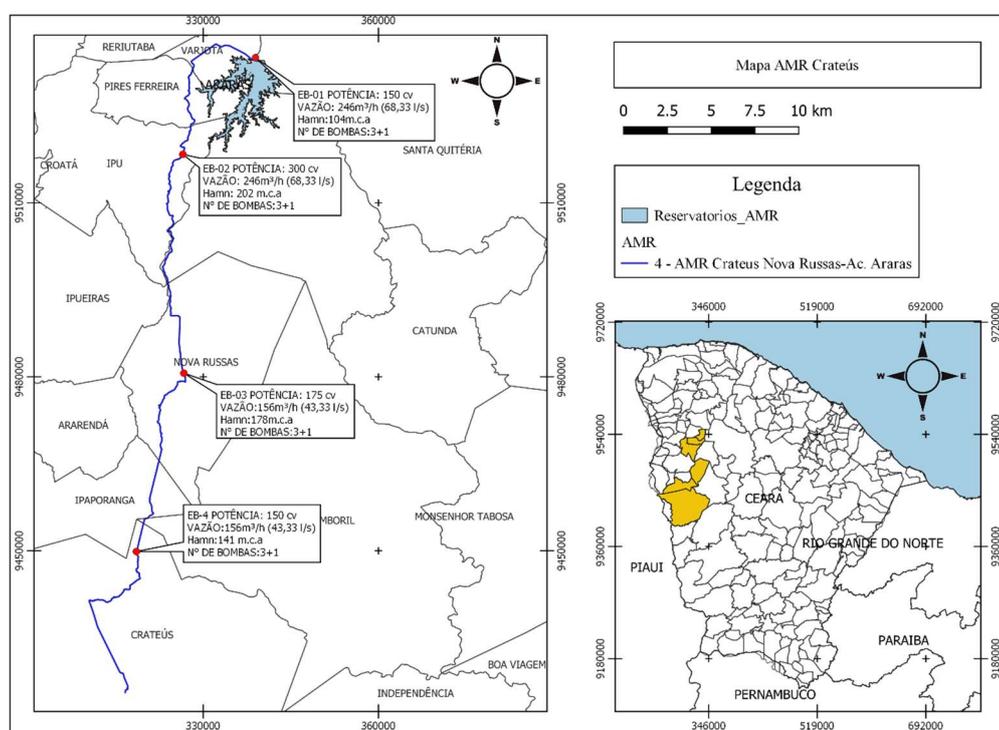
Fonte: O Autor (2023) segundo dados do “As Built”.

A adutora de montagem rápida Crateús – Nova Russas tem como manancial o Açude Araras, em plataforma flutuante aproximadamente nas coordenadas UTM 338.439-E 9.534.674-N (SAD69). Consta de **152,77 km de extensão**, Diâmetro Nominal (DN) **400 mm/500 mm**, uma população atendida de **98.400 habitantes**, para a época do projeto básico.

A vazão considerada no dimensionamento da AMR do sistema como todo é de **68,33 l/s** para todo trecho, sendo 25 l/s ficando em Nova Russas e 43,33 l/s em Crateús. O custo total do sistema foi de **R\$ 82.190.000,00**.

O Trecho denominado (EB1 Captação – EB2) contém para proteção da adutora de Aço CORTEN DN 500 mm contra transientes hidráulicos TAUs, ventosas de tríplice função e uma válvula antecipadora de onda no barrilete das bombas na captação. A Estação de Bombeamento EB-2, situa-se na sede do Distrito de Flores, município de Ipu, e recalca até a EB-3, em Nova Russas, por meio de uma adutora também de DN 500 mm em aço CORTEN. A EB-4 situa-se na localidade de Sacramento, e finalmente chegando a Crateús (Figura 10).

Figura 10 – Detalhamento da adutora de Crateús



Fonte: O Autor (2023) segundo dados do “As Built”.

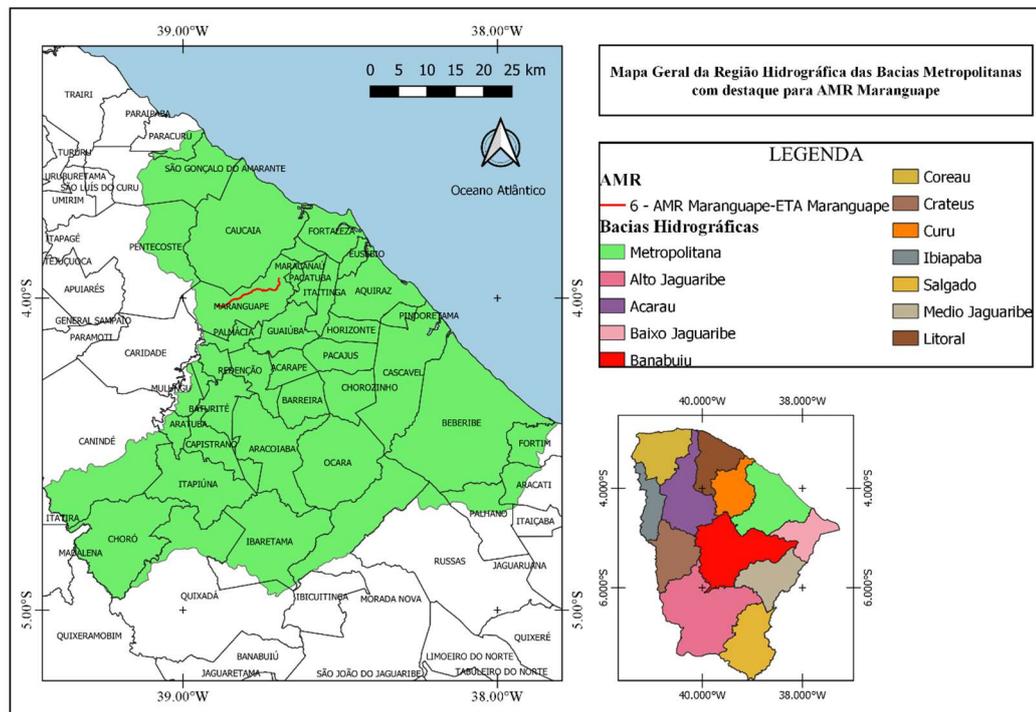
3.3 ADUTORA DE MARANGUAPE

O município de Maranguape está situado na Região Metropolitana de Fortaleza, conforme as macrorregiões de planejamento do IPECE (2016). O principal acesso à sede municipal do município de Maranguape, a partir de Fortaleza, é através da CE – 065, totalizando um percurso de aproximadamente 28 km.

A adutora de Maranguape está localizada na Região Hidrográfica denominada Bacias Metropolitanas trata-se de uma área que envolve dezesseis pequenas e médias bacias hidrográficas localizadas nas proximidades do Litoral Nordeste do estado.

A área desta região é de aproximadamente 15.100 km². A referida região abrange terras de 31 municípios incluindo a maior concentração urbana, econômica e social do estado do Ceará que é a Região Metropolitana de Fortaleza – RMF (CEARÁ, 2009) (Figura 11).

Figura 11 – Mapa Região Hidrográfica Metropolitana – AMR Maranguape



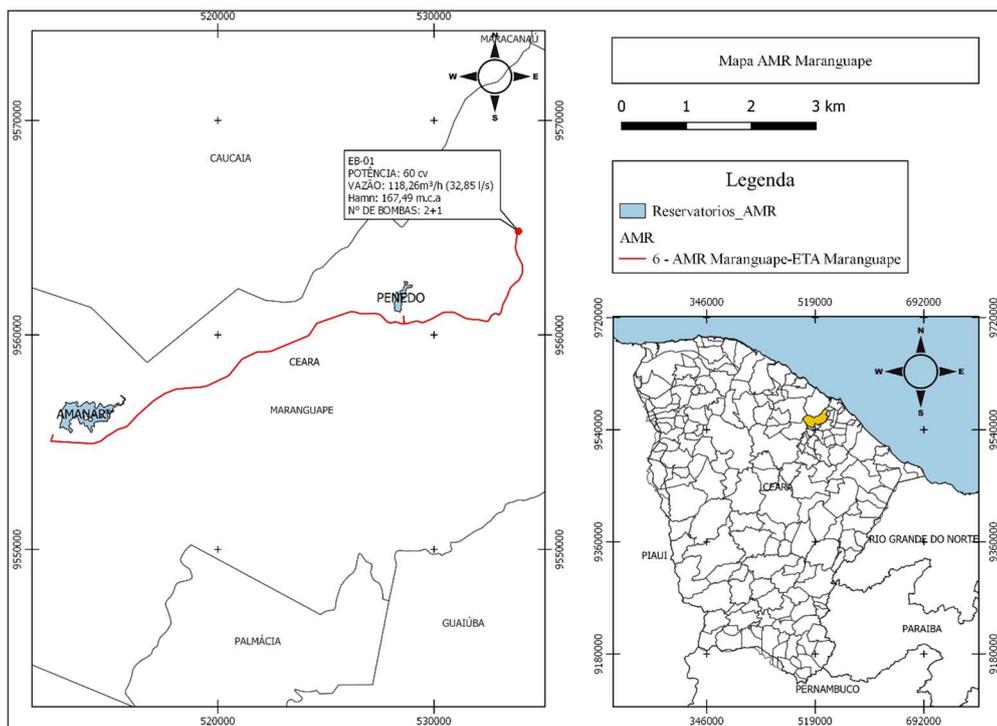
Fonte: O Autor (2023) segundo dados do “As Built”.

A Adutora tem uma **extensão de 27,80 km** e conta com apenas um bombeamento vencendo uma altura de 79,12 m. A população atendida é da ordem de **36.530 habitantes**, segundo dados do projeto básico. O custo total do sistema foi de **R\$ 4.476.547,36**.

A captação da água para o sistema adutor é mediante a derivação da adutora/rede proveniente da ETA Maranguape na localidade de Urucara para o RAP construído junto a Estação de Bombeamento EB-01 Urucara. A EB-01 Urucara é responsável pelo recalque de **32,85 L/s** por meio de uma adutora em aço CORTEN DN 200 mm até a ETA de Amanari, tendo uma derivação para a ETA de Penedo. A extensão do primeiro trecho (EB1 até derivação para ETA Penedo) é de 8.540 m.

O Trecho 2 tem início na derivação para ETA de Penedo com destino ao RAP da ETA de São João do Amanari. Foi dimensionamento sob regime pressurizado com uma vazão máxima de 18,20 L/s aduzida por uma tubulação de aço CORTEN DN 200 mm e extensão de 18.834,00 m (Figura 12).

Figura 12 – Detalhamento da adutora de Maranguape



Fonte: O Autor (2023)., segundo dados do “As Built”.

3.4 ADUTORA DE TAUÁ

O município de Tauá está situado na Macrorregião do Sertão dos Inhamuns, conforme as macrorregiões de planejamento do IPECE (2016). O principal acesso à sede municipal do município de Tauá, a partir de fortaleza, é através da BR – 020, totalizando um percurso de aproximadamente 330 km.

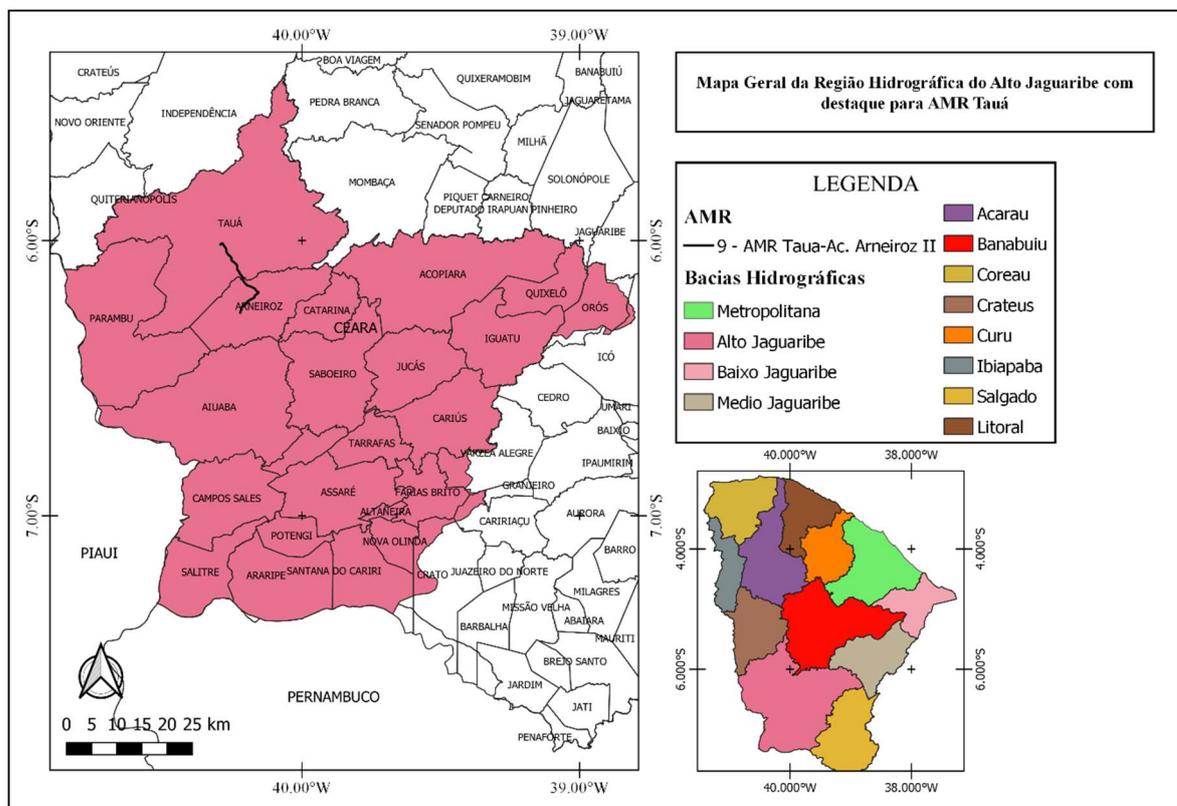
Se considerar a bacia hidrográfica correspondente, a adutora de Tauá pertence a bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, essa bacia localiza-se a montante do açude Orós e drena uma área de 24.636 km², o rio Jaguaribe, nesta região, possui uma extensão aproximada de 325 km, e têm declividades que variam de 0,03% a 2,50%, sendo a declividade média de 0,06%.

A Região Hidrográfica do Alto Jaguaribe, com área de drenagem de 24.538 km², envolve o curso superior do rio Jaguaribe, localiza-se na porção sudoeste do Estado do Ceará, limitando-se a oeste com o Estado do Piauí e ao sul com o Estado de Pernambuco. Trata-se da

maior das cinco regiões hidrográficas que formam a bacia do rio Jaguaribe, bem como, a maior do Estado do Ceará. Em termos de acumulação de águas superficiais, a região do Alto Jaguaribe apresenta uma capacidade de acumulação hídrica aproximada de 2.800 hm³, monitorada em 24 reservatórios públicos (CEARÁ,2009).

Dentre os açudes monitorados pela COGERH o maior reservatório é o do Açude Orós com uma capacidade total de 1.940.000.000 m³, e o menor reservatório o do Açude Do Coronel localizado em Antonina do Norte com uma capacidade de 1.770.000 m³ (Figura 13).

Figura 13 – Mapa Região Hidrográfica Alto Jaguaribe – AMR Tauá

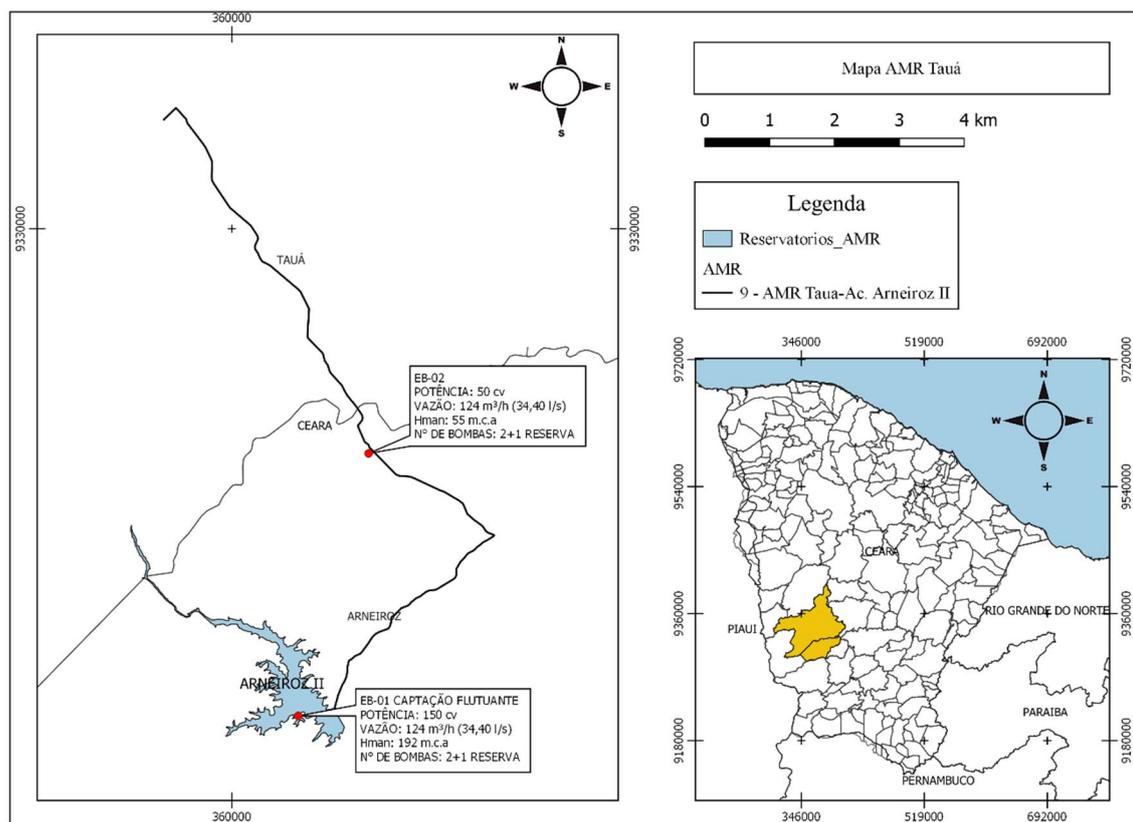


Fonte: O Autor (2023) segundo dados do “As Built”.

A Adutora tem uma **extensão de 41,22 km** e conta com dois bombeamentos vencendo uma altura de 143 m. O custo total do sistema foi de **R\$ 11.546.135,40**. A captação é feita por meio de estação flutuante no Açude Arneiroz II, nas coordenadas UTM 364.774-E 9.307.646-N. A estação denominada EB-1 é apoiada no referido flutuante responsável por recalcar uma vazão de **34,4 l/s** por meio de uma adutora em aço **CORTEN DN 300 mm** medindo este trecho 19.480 m, até o reservatório de captação de uma segunda estação de bombeamento denominada EB-2.

A estação elevatória EB-2 é localizada a 19.480 m do local da captação, sendo responsável por recalcar a mesma vazão até o ponto de injeção próximo a cidade de Tauá, proporcionando o atendimento de uma população da ordem de **33 mil habitantes**, segundo projeto básico (Figura 14).

Figura 14 – Detalhamento da adutora de Tauá



Fonte: O Autor (2023)., segundo dados do “As Built”.

3.5 ADUTORA DE POTIRETAMA

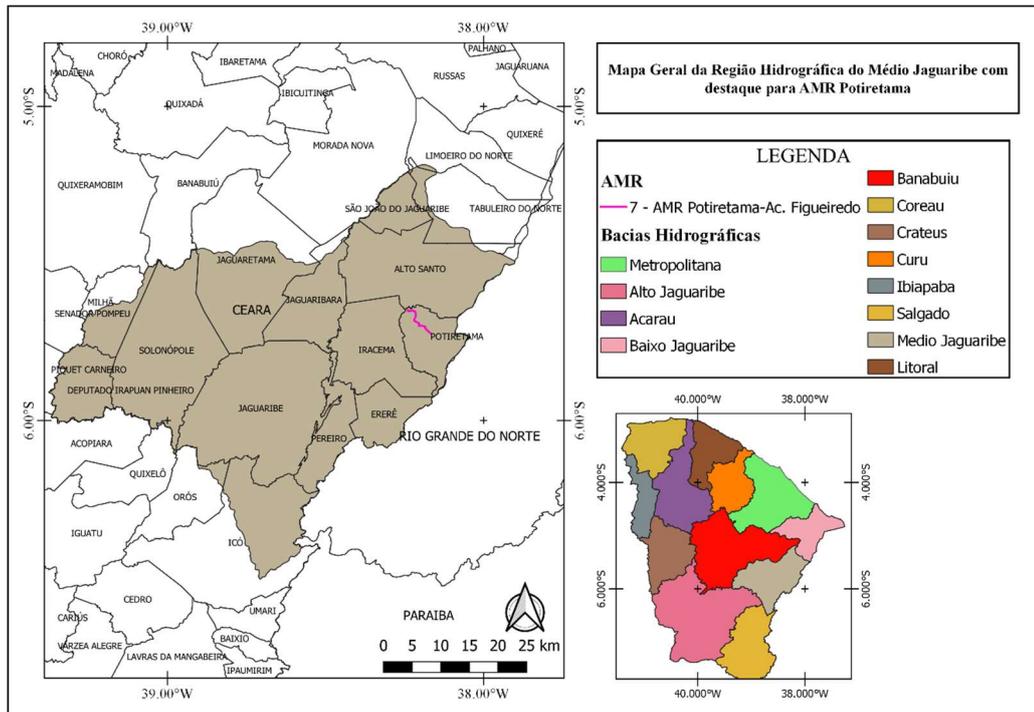
O município de Potiretama está situado na Região Jaguaribara, conforme as macrorregiões de planejamento do IPECE (2016). O principal acesso à sede municipal do município de Potiretama, a partir de Fortaleza, é através da CE – 470, totalizando um percurso de aproximadamente 365 km.

Se considerar a bacia hidrográfica correspondente, a adutora de Potiretama pertence a bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe, essa bacia possui um curso de aproximadamente 171 km de extensão, drenando uma área de 10.376 km².

A região hidrográfica do Médio Jaguaribe conta com 13 açudes monitorados pela COGERH, com uma capacidade de acumulação de 6.860.905.600 m³ de água. No médio Jaguaribe encontram-se cerca de 70% das terras irrigáveis da bacia do rio Jaguaribe. O

Castanhão possibilita a irrigação destas terras. Este grande reservatório propicia também o combate às inundações do baixo Jaguaribe. O Castanhão funciona ainda como principal responsável pela garantia do abastecimento de água de toda a Região Metropolitana de Fortaleza pelo sistema adutor do Eixão das Águas (CEARÁ, 2009) (Figura 15).

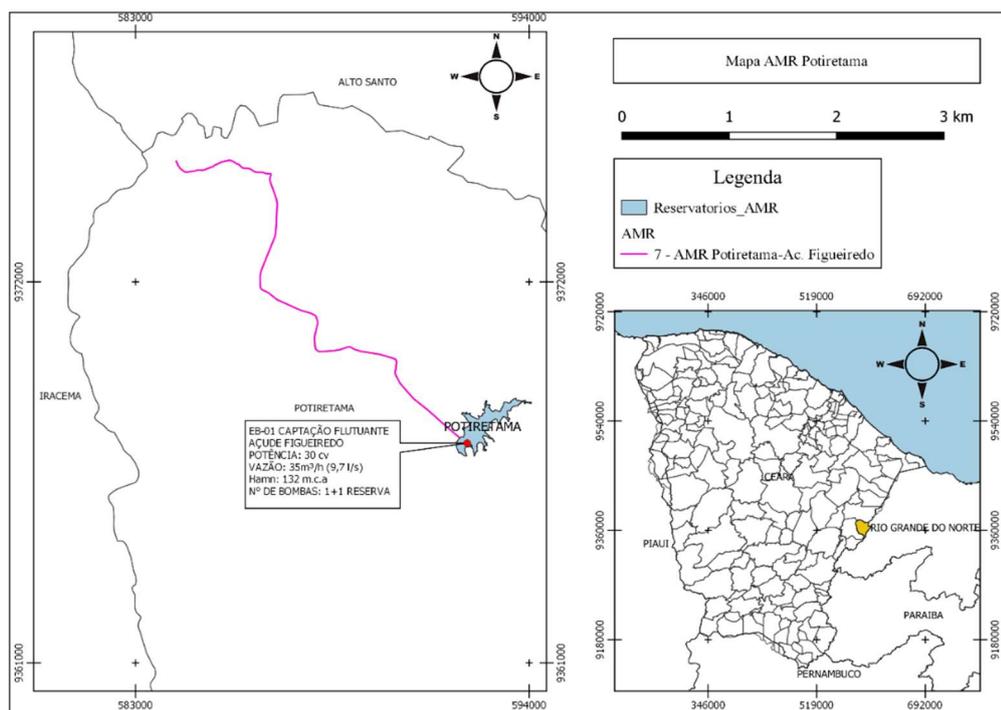
Figura 15 – Mapa Região Hidrográfica Médio Jaguaribe – AMR Potiretama



Fonte: O Autor (2023) segundo dados do “As Built”.

A Adutora tem uma **extensão de 16,39 km** e conta com apenas um bombeamento vencendo uma altura de 132 m (Figura 16).

Figura 16 – Detalhamento da adutora de Potiretama



Fonte: O Autor (2023) segundo dados do “As Built”.

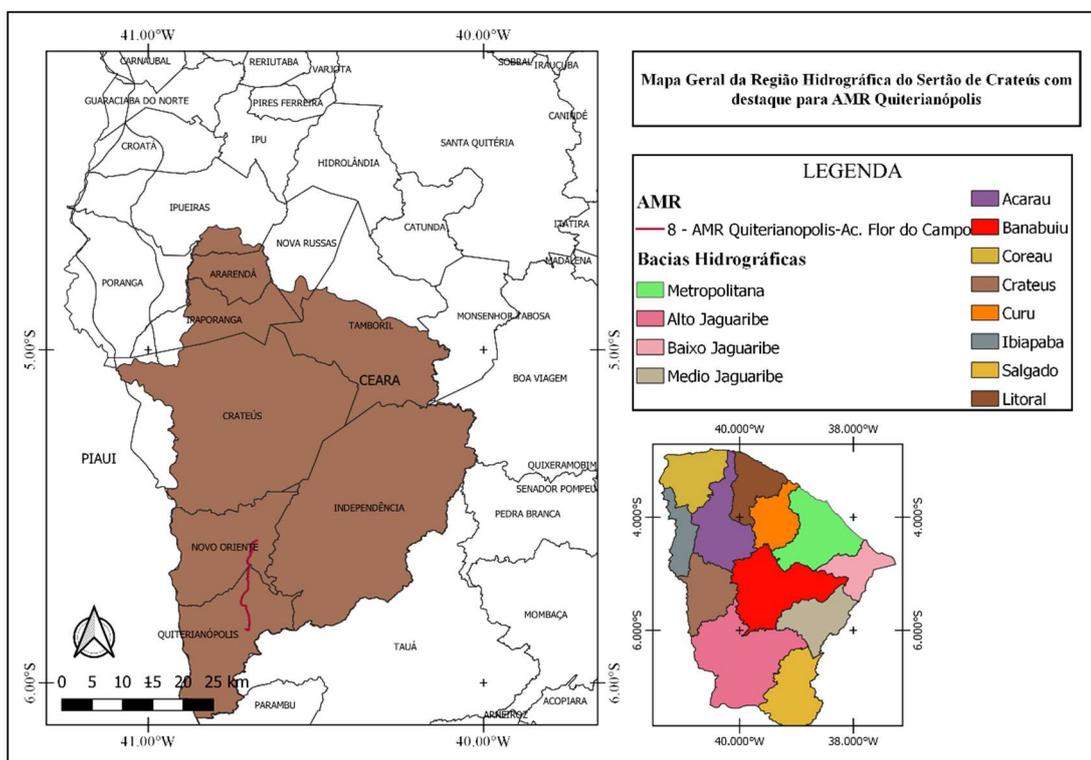
A captação é feita por meio de estação flutuante no Açude Figueiredo, aproximadamente nas coordenadas UTM 449.623-E 9.550.712-N, aduzindo uma vazão de **9,7 l/s** até ao Reservatório Apoiado de 50 m³ (RAP), adjacente à ETA de Potiretama, para onde a água é bombeada e tratada. A estação EB-1 no Açude Figueiredo é responsável por recalcar a água por meio de uma adutora em aço CORTEN **DN 200 mm**, abastecendo uma população atendida da ordem de **6.278 habitantes**, segundo projeto básico de 2014.

O custo total do sistema foi de **R\$ 4.265.569,34**.

3.6 ADUTORA DE QUITERIANÓPOLIS

O município de Quiterianópolis situado na Macrorregião do Sertão dos Inhamuns, conforme as macrorregiões de planejamento do IPECE (2016). O principal acesso à sede municipal do município de Quiterianópolis, a partir de Fortaleza, é através da BR – 020, totalizando um percurso de aproximadamente 409 km. Se considerar a bacia hidrográfica correspondente, essa adutora pertence a bacia hidrográfica dos Sertões de Crateús (Figura 17).

Figura 17 – Mapa Região Hidrográfica Sertão de Crateús – AMR Quiterianópolis



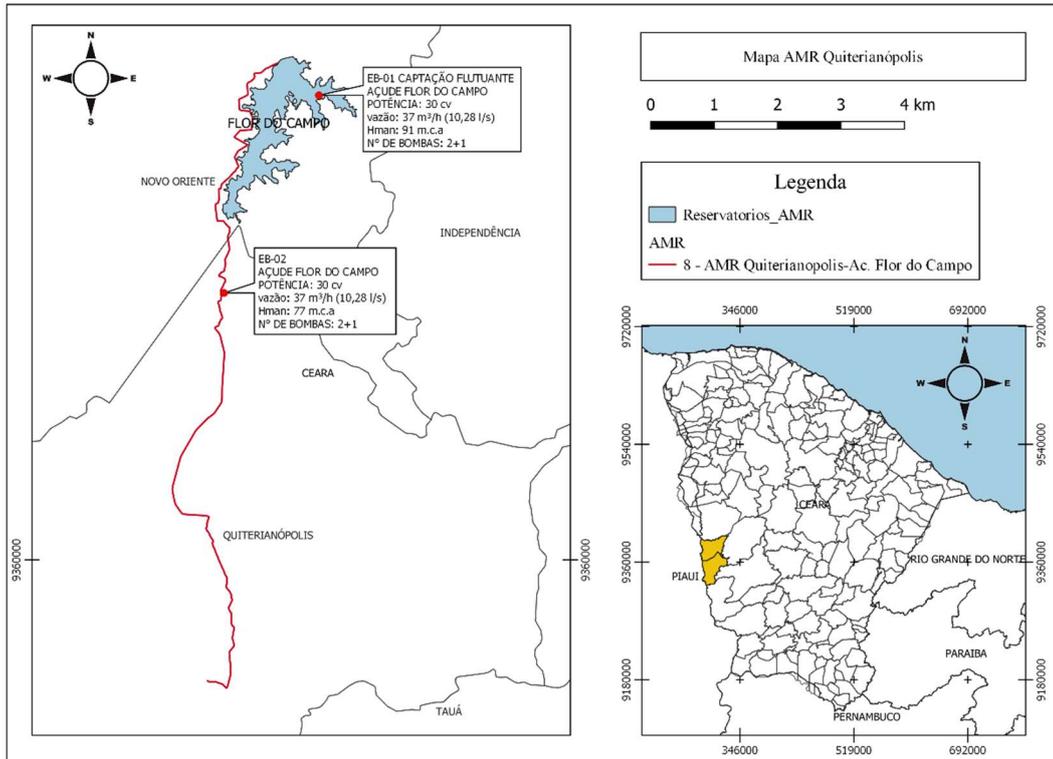
Fonte: O Autor (2023) segundo dados do “As Built”.

A Adutora tem uma **extensão de 38,92 km** e conta com dois bombeamentos vencendo uma altura de 110 m. A captação é feita por meio de estação flutuante no Açude Flor do Campo, aduzindo uma vazão de **10,28 l/s** até a Estação de Bombeamento EB-02. O custo total do sistema foi de **R\$ 7.673.467,43**.

O Trecho de adução 1 (EB1 Captação – EB2) requer a proteção da adutora de aço CORTEN **DN 200 mm** contra transientes hidráulicos, com proteção de um One-Way, implantado na estaca 119 e outro na estaca 590 após a EB-2, ambos com diâmetro de 3,00 metros altura útil de 8 m e volume de alívio de 56 m³.

Durante o trajeto da linha de recalque possui instaladas 24 descargas de DN 100 mm e 24 ventosas tríplice função de DN 50 mm, essas ajudam a dissipar a onda decorrente de golpe de aríete. A Estação de Bombeamento EB-2 situa-se, conforme “As built”, na sede do Distrito de Quiterianópolis, e recalca até a ETA da cidade de Quiterianópolis por meio de uma adutora DN 200 mm em aço CORTEN para abastecer uma população da ordem de **9.846 habitantes**, segundo projeto básico (Figura 18).

Figura 18 – Detalhamento da adutora de Quiterianópolis



Fonte: O Autor (2023) segundo dados do “As Built”.

4 METODOLOGIA

A metodologia para este trabalho está dividida de acordo com os objetivos específicos. Para analisar a concepção das principais Adutoras de Montagem Rápida no Ceará foi realizado uma coleta de informações em arquivos, projetos e relatórios de campo que constam do período de 2014, época da construção dessas adutoras. Os principais projetos analisados foram os projetos básicos e o “as built”, todos disponibilizados nos dados e arquivos da COGERH. A empresa IBI ENGENHARIA CONSULTIVA LTDA foi a empresa de consultoria responsável para execução dos serviços de análise do projeto básico, supervisão e acompanhamento, bem como elaboração dos referidos “as built”.

Para o segundo e terceiro objetivo específico de avaliar o nível de fragilidade que se encontra as adutoras, a metodologia foi alicerçada a partir da aplicação de fichas de inspeção ou *checklist* nas adutoras denominadas de AMR.

As fichas de inspeção na COGERH foram alicerçadas a partir do ano 2000 na aplicação dos *checklist* voltados para a segurança de barragem Menescal et al. (2001). Para definir uma metodologia de priorização de investimentos em manutenção de adutoras foi readequado a metodologia de manutenção de barragens utilizada por Menescal et al. (2001).

No ano de 2020 concebeu-se, de forma pioneira e inovadora, um modelo de *checklist* para adutoras conforme apêndice A. A aplicação desse novo modelo de *checklist* se deu a partir do ano de 2021 contemplando também as adutoras de aço CORTEN, as quais foram executadas para minimizar os impactos da crise hídrica vivenciada pelo Ceará diante da última seca com início no ano de 2012 (BARBOSA, LIMA E CIRILO, 2023).

Os parâmetros definidos para a obtenção da priorização de investimentos em manutenção de adutoras foram: vulnerabilidade (V), importância estratégica (IE) e o estabelecimento de uma prioridade de investimentos (PI).

4.1 CÁLCULO DO PARÂMETRO VULNERABILIDADE (V)

A estimativa do parâmetro vulnerabilidade (V) foi feito a partir da quantificação das anomalias classificadas quanto à sua magnitude em P (pequena), M (média) e G (grande), identificados na aplicação do *checklist*. A classificação das anomalias por magnitude para adutoras apresenta os seguintes termos e legenda:

1. **Magnitude P** (pequena): quando não compromete a segurança operacional da adutora, mas indica início de descaso ou falta de manutenção;
2. **Magnitude M** (média): quando não compromete a segurança operacional da adutora a curto prazo, mas que deve ser corrigido;
3. **Magnitude G** (grande): quando compromete a segurança operacional da adutora, devendo ser corrigido imediatamente.

Para o cálculo da vulnerabilidade foram atribuídos dois pesos. O peso 1 (P1) referente a classificação das anomalias por magnitude, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Peso das classificações de anomalias (P1)

Magnitude	Peso da Anomalia (a)
Anomalia P	1
Anomalia M	4
Anomalia G	9

Fonte: Adaptado de Fontenelle (2007).

O peso 2 (P2) está em função da quantidade de anomalias classificadas por intervalos conforme Tabela 2. Caso a quantidade de anomalias seja zero, o peso é igualmente nulo.

Tabela 2 - Peso das quantidades de anomalias (P2)

Quantidade de Anomalias	Fator Quantitativo
1-5	1
6-10	2
11-15	3
16-20	4
21-35	5
36-50	6

Fonte: Adaptado de Fontenelle (2007).

Esses intervalos com seus respectivos pesos, foram os mesmos utilizados no trabalho de Fontenelle (2007) aplicados para manutenção em barragens. Portanto, o valor final da vulnerabilidade (V) é o produto entre P1 e P2 conforme equação 7:

$$V = \Sigma (P1 \times P2) \quad (7)$$

Exemplificando a metodologia acima no caso de uma aplicação de *checklist* para uma adutora fictícia X, e sabendo que o valor de P1 é fixo para a classificação da magnitude, resta apenas o cálculo do P2 de acordo com a quantidade de anomalias. A Tabela 3 mostra o registro das anomalias para a adutora X.

Tabela 3 - Estimativa da vulnerabilidade (V) para a adutora X

Magnitude	Quantidade de anomalias na Lista de Inspeção	P1(Tabela 1)	P2 (Tabela 2)	Vulnerabilidade (P1 x P2)
Anomalia P	20	1	4	= 1x4= 4
Anomalia M	9	4	2	= 4x2= 8
Anomalia G	3	9	1	= 9x1= 9
Valor da vulnerabilidade (V)				21

Fonte: O Autor (2023).

No exemplo fictício a vulnerabilidade da adutora X alcançou um valor de 21, especificamente para esse valor seria considerado alto o que proporcionaria risco de comprometimento operacional da adutora. Isso se deve basicamente ao registro de anomalias M e G, pois as anomalias P apesar do registro de 20 só corresponde à 19% do valor total da vulnerabilidade.

4.2 CÁLCULO DA IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA (IE)

Inicialmente para o cálculo de importância estratégica (IE) foi escolhido o método AHP dentre os vários métodos disponíveis do MCDM.

Com a definição do método AHP, foi determinado um conjunto de critérios a serem avaliados por especialistas. Seguem abaixo os critérios selecionados que estão relacionados com aspectos técnicos, econômicos e sociais das adutoras.

- a) Vazão da adutora;
- b) Extensão da adutora;
- c) Número de clientes cobertos pela adutora;
- d) Custo de execução da adutora.

Com os critérios escolhidos foi editada a Tabela 4 e encaminhada para 10 especialistas da COGERH com conhecimento acerca de sistemas adutores, sendo gestores e engenheiros.

Tabela 4 - Critérios técnicos das adutoras

Critério	Vazão	Extensão	Número de clientes	Custo de Execução
Vazão				
Extensão				
Número de clientes				
Custo Execução				

Fonte: O Autor (2023).

Para o preenchimento da planilha, os entrevistados aplicaram os valores de importância da escala de comparação AHP de Saaty (1977) da Tabela 5, de forma a indicar o quanto um critério da coluna da esquerda é mais importante em relação a outro critério correspondente na linha superior. Um fator confrontado com ele mesmo tem valor 1 (um). Como todos os fatores se entrecruzam uma vez, a matriz passa a ser apenas um espelho, ou inverso do procedimento inicial.

Tabela 5 - Escala de comparação de Saaty

Valores	Importância mútua
1/9	Extremamente menos importante
1/7	Muito fortemente menos importante
1/5	Fortemente menos importante
1/3	Moderadamente menos importante
1	Igualmente importante
3	Moderadamente mais importante
5	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
9	Extremamente mais importante

Fonte: Saaty (1977).

O valor final de cada célula da planilha da Tabela 4 foi obtido a partir de um procedimento estatístico denominado moda de cada célula referente às respostas dos entrevistados, conforme a metodologia indicada por Saaty (1977).

Como exemplo dessa metodologia a Tabela 6 mostra os valores modais das respostas das planilhas preenchidas pelos entrevistados.

Tabela 6 - Exemplo aplicação: Valores de comparação

	Critério A	Critério B	Critério C
Critério A	1	5	5
Critério B	1/5	1	3
Critério C	1/5	1/3	1
Soma	1,4	6,2	11

Fonte: O Autor (2023).

A próxima etapa será encontrar o valor final de cada célula. Esse valor será a razão entre o seu valor modal e o somatório da sua respectiva coluna, conforme indicado na Tabela 7. Por exemplo, o valor da célula da primeira linha e da primeira coluna de 0,72 foi obtido dividindo o seu valor modal 1 pela soma da sua coluna de 1,4.

Tabela 7 - Exemplo de aplicação: Valor modal das células

	Critério A	Critério B	Critério C
Critério A	0,72	0,81	0,45
Critério B	0,14	0,16	0,45
Critério C	0,14	0,03	0,10

Fonte: O Autor (2023).

Após todo o procedimento descrito, será possível obter o peso de cada critério. Esse peso será a média de cada linha conforme, Tabela 8.

Tabela 8 - Exemplo aplicação: Peso dos critérios

	Critério A	Critério B	Critério C	Média	Média (%)
Critério A	0,72	0,81	0,45	0,66	66%
Critério B	0,14	0,16	0,45	0,25	25%
Critério C	0,14	0,03	0,10	0,11	9%

Fonte: O Autor (2023).

Com os pesos definidos para cada critério pode-se então calcular a importância estratégica (IE) conforme equação 8.

$$IE = \left[\begin{array}{l} (\text{Valor real em porcentagem do CritérioA} * \text{Peso do CritérioA}) + \\ (\text{Valor real em porcentagem do CritérioB} * \text{Peso do CritérioB}) + \\ (\text{Valor real em porcentagem do CritérioC} * \text{Peso do CritérioC}) \end{array} \right] \quad (8)$$

O valor real de cada critério das adutoras deve estar em porcentagem, visto que esses critérios possuem unidades diferentes como L/s, extensão em Km ou número de habitantes.

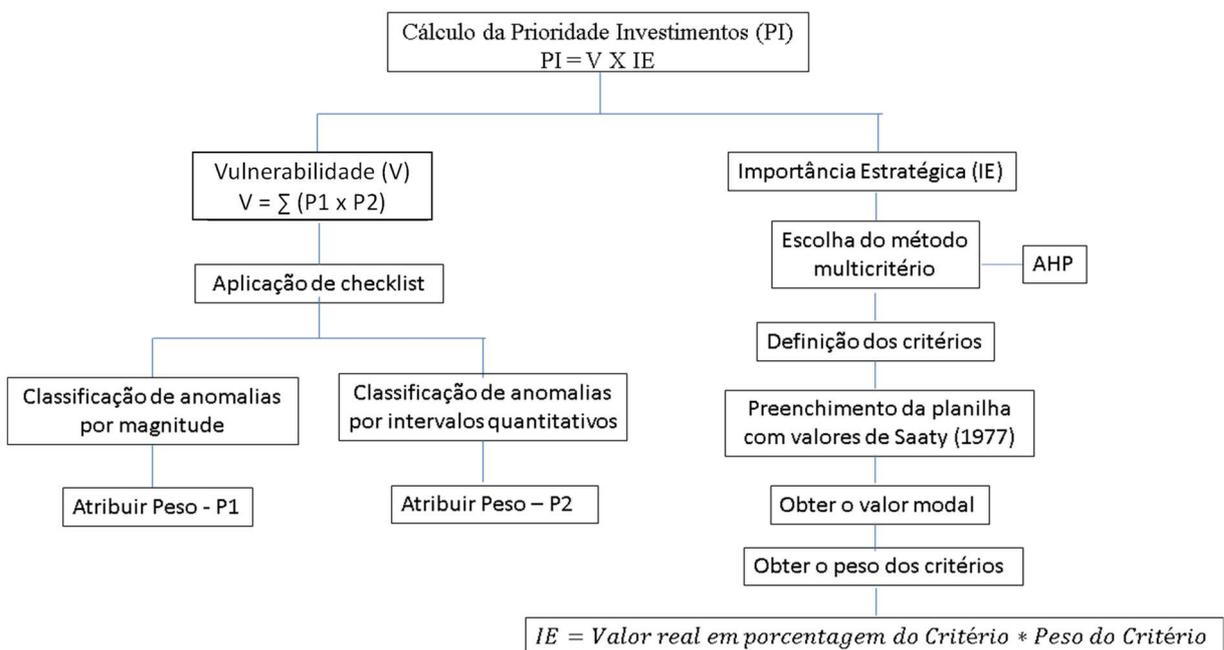
4.3 CÁLCULO DA PRIORIDADE DE INVESTIMENTOS (PI)

Após obtido os valores dos parâmetros de vulnerabilidade (V) e importância estratégica (IE), pode-se calcular a prioridade de investimentos (PI) conforme a equação 9:

$$PI = V \times IE \quad (9)$$

O fluxograma da Figura 19 resume e ajuda a compreender as etapas realizadas na metodologia.

Figura 19 – Fluxograma da metodologia



Fonte: O Autor (2023).

5 RESULTADOS

5.1 PROJETOS E INSPEÇÕES

É válido ressaltar que antes de se iniciar às visitas nas adutoras teve-se o cuidado de analisar os projetos de cada obra (COGERH,2014). Foram coletados registros fotográficos e relatórios da COGERH que ilustram e ajudam a compreender as decisões adotadas. Esses registros foram essenciais para que fosse conferida em campo a situação em que se encontra cada adutora.

Com o novo modelo de *checklist* validado para adutoras foi possível aplicar as fichas de inspeção. Na Figura 20 segue a versão de um QR Code para a verificação do *checklist* para todas as adutoras do presente estudo. As mesmas fichas de inspeção também podem ser verificadas através da seguinte URL: <https://bityli.com/Checklist-AMR>.

Figura 20 – QR Code com os *checklist* das adutoras



Fonte: O Autor (2023).

Além do *checklist* acima, segue os registros fotográficos dessas visitas bem como a situação de como encontra-se atualmente as adutoras, apresentando detalhes em modificações de projetos. Os registros fotográficos do período da construção estão presentes somente no anexo B.

5.1.1 Adutora de Caririaçu

Atualmente essa adutora continua com os tubos de aço CORTEN (Figura 21), apresentando continuamente muitos vazamentos. O seu *checklist* foi realizado na data do dia 24/08/21 e está detalhado na lista de QR Code que contempla a Figura 20.

Figura 21 - Adutora de Caririaçu: Aço CORTEN



Fonte: O Autor (2023).

5.1.2 Adutora de Crateús

Atualmente essa adutora continua com os tubos de aço CORTEN, apresentando continuamente muitos vazamentos (Figura 22) e com vários tubos necessitando serem trocados (Figura 23). O seu *checklist* foi realizado na data dos dias 27/07/21 e 28/07/2021 e está detalhado na lista de QR Code que contempla a Figura 20.

Figura 22 - AMR de Crateús: Vazamentos



Fonte: O Autor (2023).

Figura 23 - AMR de Crateús: Aço CORTEN



Fonte: O Autor (2023).

5.1.3 Adutora de Maranguape

Durante a aplicação do *checklist* no ano de 2021 essa adutora não estava operacional e apresentando uma elevada criticidade no estado de conservação dos tubos de aço CORTEN (Figura 24). Contudo, no ano de 2022 os tubos de aço CORTEN estão sendo substituídos por

tubos de PVC/DEFOFO DN 250 mm, pela equipe da COGERH, seguindo o mesmo caminhamento da adutora de aço CORTEN e deixando a adutora novamente operacional (Figura 25).

Figura 24 – AMR de Maranguape



Fonte: O Autor (2023).

Figura 25 – Adutora de Maranguape: PVC



Fonte: O Autor (2023).

5.1.4 Adutora de Potiretama

Atualmente essa adutora continua com os tubos de aço CORTEN, apresentando continuamente muitos vazamentos (Figura 26) e com vários tubos necessitando serem trocados (Figura 27). O seu *checklist* foi realizado na data do dia 17/08/21 e está detalhado no QR Code da Figura 20.

Figura 26 - AMR de Potiretama: Vazamentos



Fonte: O Autor (2023).

Figura 27 - AMR de Potiretama



Fonte: O Autor (2023).

5.1.5 Adutora de Quiterianópolis

Durante a aplicação do *checklist* no ano de 2021, QR Code da Figura 15, essa adutora não estava operacional e apresentando uma elevada criticidade no estado de conservação dos

tubos de aço CORTEN (Figura 28). Ainda não há previsão de quando será feita a substituição dos tubos dessa adutora.

Figura 28 - AMR de Quiterianópolis: Aço CORTEN



Fonte: O Autor (2023).

5.1.6 Adutora de Tauá

Durante a aplicação do *checklist* no ano de 2021 essa adutora não estava operacional e apresentando uma elevada criticidade no estado de conservação dos tubos de aço CORTEN (Figura 29). Contudo, no ano de 2022 os tubos de aço CORTEN estão sendo substituídos por tubos de Ferro Fundido (Figura 30).

Figura 29 – AMR de Tauá



Fonte: O Autor (2023).

Figura 30 – Adutora de Tauá: FOFO



Fonte: O Autor (2023).

5.2 PRIORIDADE PARA APLICAÇÃO DE RECURSOS EM MANUTENÇÃO

Após a implementação das adutoras e o início do processo de desgaste, foram feitos contratos de aquisições de tubos e conexões que tinham como objetivos manter a operacionalidade dessas adutoras. Esses contratos estão explicitados conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Contratos de manutenção das adutoras

Contrato	Objeto	Valor Contrato	Adutora
037 2018	Aquisição de tubos para aplicação em adutoras de montagem rápida	R\$ 859.937,40	AMR Todas
031 2018	Aquisição de tubos de FOFO JGS JE K7	R\$ 2.685.406,20	AMR Todas
015 2019	Serviço de engenharia para escavações e assentamento de 4500 m de tubulação de ferro fundido para substituir a tubulação de aço CORTEN nos trechos mais críticos	R\$ 568.835,01	AMR Crateús
056 2021	Serviço de manutenção corretiva das estações de bombeamento da AMR de Crateús	R\$ 953.746,13	AMR Crateús
076 2021	Serviço de requalificação da Adutora de Tauá	R\$ 10.665.143,09	AMR Tauá
077 2021	Aquisição de tubos DEFOFO DN 200 mm e FOFO DN 200 mm AMR de Maranguape	R\$ 241.891,92	AMR Maranguape
078 2021	Aquisição de tubos DEFOFO DN 200 mm e FOFO DN 200 mm para AMR de Maranguape	R\$ 3.409.665,00	AMR Maranguape
079 2021	Aquisição de tubos DEFOFO DN 200 mm e FOFO DN 200 mm para AMR de Maranguape	R\$ 697.005,00	AMR Maranguape
	Total	R\$ 20.081.629,75	

Fonte: O Autor (2023).

A COGERH passou a despender quantias elevadas e frequentes na tentativa de manter as adutoras no máximo tempo possível de operacionalidade. Contudo, esses gastos acabaram por não ter critérios bem definidos, se não as paradas inesperadas das adutoras que se mostravam mais vulneráveis. Sem um plano de gasto e uma ferramenta que pudesse sinalizar quanto e quando investir nessa ou naquela infraestrutura, as decisões de gastos se davam sempre alicerçadas nas emergências, não obedecendo outros critérios técnicos. Os resultados analisados a seguir, através da metodologia exposta, são fundamentais para uma mudança na forma como os recursos em manutenção podem ser aplicados baseado nos critérios de vulnerabilidade (V) e importância estratégica (IE).

5.2.1 Vulnerabilidade (V)

Para o cálculo da vulnerabilidade trabalhou-se inicialmente com os dados do *checklist* aplicados no segundo semestre de 2021 para as 6 adutoras do estudo. Os quantitativos de anomalias por magnitude foram tabulados e assim calculado o parâmetro vulnerabilidade (V), conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Quantidade de Anomalias P, M e G decorrente do *checklist*

Adutora	Magnitude "P"	Magnitude "M"	Magnitude "G"	Vulnerabilidade
Caririaçu	19	8	1	21
Crateús	22	11	1	26
Maranguape	25	6	2	22
Potiretama	18	11	1	25
Quiterianópolis	20	6	2	21
Tauá	21	5	2	18

Fonte: O Autor (2023).

Pode-se observar na Tabela 9 que a adutora de Crateús obteve um valor de 26 para o parâmetro vulnerabilidade, tendo sido a infraestrutura hídrica que se mostrou mais frágil. Provavelmente isso se deve ao considerável número de anomalias M e do registro de uma anomalia G. Outro aspecto importante na Tabela 9 é que o número de anomalias P não houve tantas discrepâncias entre as 6 adutoras analisadas, portanto, o que definiu a maior ou menor fragilidade foi o número de anomalias M e G.

5.2.2 Importância Estratégica (IE)

Em relação à importância estratégica, foram obtidos os valores modais para cada célula de acordo com a Tabela 11, com base nas respostas do grupo de especialistas que preencheram a planilha para estimar os pesos dos critérios técnicos.

Tabela 11 - Valor modal dos critérios das adutoras

Critério	Vazão	Extensão	Número de clientes	Custo de Execução
Vazão	1	5	3	7
Extensão	1/5	1	1/3	5
Número de clientes	1/3	3	1	5
Custo de Execução	1/7	1/5	1/5	1
Soma	1,68	9,20	4,53	18,00

Fonte: O Autor (2023).

Com base na Tabela 11, obteve-se os valores de peso para cada parâmetro atribuído às adutoras, o que deu origem à Tabela 12. A Tabela 12 define tanto os valores do peso para cada critério como indica o critério mais preponderante para o estabelecimento da importância estratégica na visão dos especialistas que preencheram a planilha.

Tabela 12 - Valor peso de cada critério

Critério	Vazão	Extensão	Número de clientes	Custo de Execução	Peso dos Critérios (Média)	Peso dos Critérios (%)
Vazão	0,60	0,54	0,66	0,39	0,55	55%
Extensão	0,12	0,11	0,07	0,28	0,14	14%
Número de clientes	0,20	0,33	0,22	0,28	0,26	26%
Custo de Execução	0,09	0,02	0,04	0,06	0,05	5%
Soma	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	100%

Fonte: O Autor (2023).

De acordo com os valores da Tabela 12 os técnicos que preencheram a planilha para compor o cálculo da importância estratégica (IE) definiram o critério vazão como aquele mais importante com o valor de 55%. O segundo critério mais importante definido pelos técnicos foi o número de clientes, cujo o valor foi de 26%.

Dados de projeto das adutoras foram resumidos e explicitados na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados de projetos das adutoras

Adutora	Vazão (L/s)	Extensão (km)	Número de Clientes (Hab)	Custo de Execução(R\$)
Caririaçu	31,7	13,07	15.098	R\$ 4.650.034,60
Crateús	68,33	152,77	98.400	R\$ 82.190.000,00
Maranguape	32,85	27,80	36.530	R\$ 4.476.547,36
Potiretama	9,7	16,39	6.278	R\$ 4.265.569,34
Quiterianópolis	10,28	38,92	9.846	R\$ 7.673.467,43
Tauá	34,4	41,22	33.314	R\$ 11.546.135,40
Soma	187,26	290,17	199.466	R\$ 114.801.754,13

Fonte: O Autor (2023).

Para aplicar os pesos aos critérios foi necessário transformar todos os valores reais de cada critério em percentual. Por exemplo, a vazão da adutora de Caririaçu é 31,7 L/s que dividido pela soma das vazões de todas as adutoras, que é de 187,26 L/s, chegou-se ao valor percentual de 16,93 %. Com os valores dos critérios transformados em percentuais e com o peso para cada critério definido, foi possível então obter o valor final para a importância estratégica (IE) conforme Tabela 14.

O cálculo do IE, por exemplo, para a adutora de Caririaçu foi obtido da seguinte forma:

$$IE = (16,93\% * 55\% + 4,5\% * 14\% + 7,57\% * 26\% + 4,05\% * 5\%)$$

$$IE = 12,07\%$$

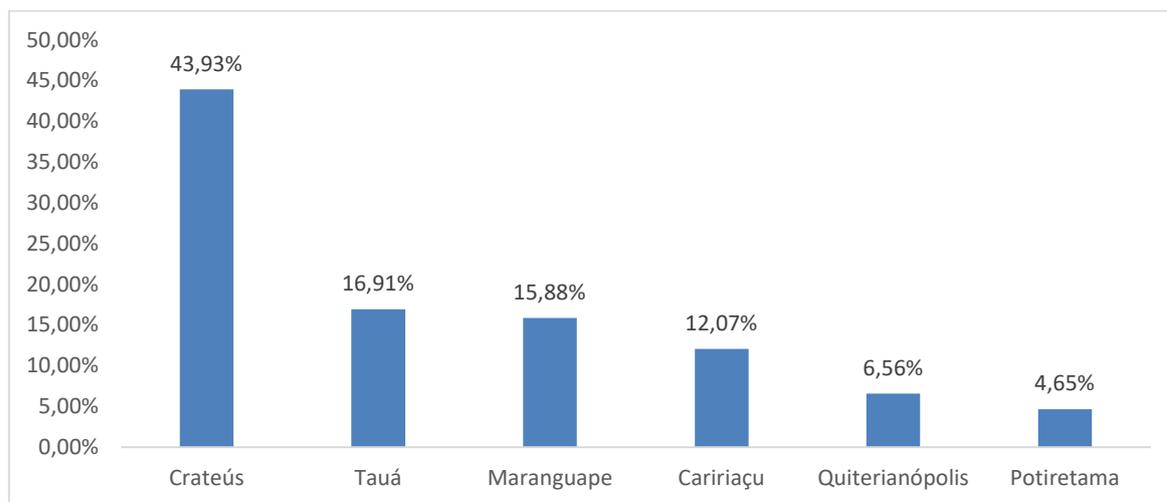
Tabela 14 – Valores dos critérios em percentual e cálculo do IE

Adutora	Vazão (L/s)	Extensão (km)	Número de Clientes (Hab)	Custo Execução(R\$)	IE
Caririaçu	16,93%	4,50%	7,57%	4,05%	12,07%
Crateús	36,49%	52,65%	49,33%	71,59%	43,93%
Maranguape	17,54%	9,58%	18,31%	3,90%	15,88%
Potiretama	5,18%	5,65%	3,15%	3,72%	4,65%
Quiterianópolis	5,49%	13,41%	4,94%	6,68%	6,56%
Tauá	18,37%	14,21%	16,70%	10,06%	16,91%
Peso dos Critérios	55%	14%	26%	5%	

Fonte: O Autor (2023).

Com os dados obtidos da importância estratégica (IE) para cada adutora, de acordo com a Tabela 14, foi possível gerar o gráfico comparativo entre os seus respectivos valores (Figura 27).

Figura 31 – Importância Estratégicas das Adutoras



Fonte: O Autor (2023).

Conforme os dados apresentados na Figura 31 é possível perceber que a adutora de Crateús obteve o maior valor de IE, sendo a mais importante entre as 6 adutoras estudadas. Isso foi devido principalmente ao critério vazão e ao número de clientes. Esse resultado corrobora com a situação em campo, pois a citada adutora realmente é a mais estratégica entre as adutoras avaliadas.

Vale enaltecer que a adutora de Crateús é a única entre as 6 adutoras que transfere água entre bacias hidrográficas. A referida adutora garante a segurança hídrica de 4 sedes municipais e de vários distritos quando em período de escassez hídrica. Dentre os municípios atendidos destaca-se a sede de Crateús, município mais importante da Macrorregião econômica Sertão de Crateús composta por 9 municípios. Outro aspecto relevante dessa adutora é a sua extensão de 152,7 km que corta regiões da bacia hidrográfica do Acaraú e grande parte da bacia hidrográfica do Sertão de Crateús.

Na sequência de importância estratégica (IE) aparecem as adutoras de Tauá e Maranguape respectivamente. Novamente o modelo conseguiu representar a realidade de campo, pois trata-se de duas adutoras que garantem o abastecimento de água humano de dois grandes municípios com robusta população urbana.

5.2.3 Prioridade de Investimentos (PI)

Com os valores de vulnerabilidade (V) e importância estratégica (IE) obtidos foi possível calcular os valores de prioridade de investimento (PI) para as adutoras do objeto desse estudo (Tabela 15).

O presente trabalho mostrou um relevante avanço frente aos trabalhos publicados para a priorização de investimentos. O avanço se deu principalmente na avaliação e na contemplação da variável vulnerabilidade (V) que compõem o valor final do PI.

Tabela 15 – Valores indicativos da priorização de investimentos nas adutoras

Adutoras	Vulnerabilidade	Importância (IE)	PI
Crateús	26,00	43,93%	11,42
Maranguape	22,00	15,88%	3,49
Tauá	18,00	16,91%	3,04
Caririaçu	21,00	12,07%	2,53
Quiterianópolis	21,00	6,56%	1,38
Potiretama	25,00	4,65%	1,16

Fonte Autor (2023).

A Tabela 15 mostra o impacto e a relevância da vulnerabilidade (V), através da aplicação do checklist, no cálculo do PI, visto que mesmo a adutora de Tauá apresentando uma maior importância estratégica (IE) em relação à adutora de Maranguape, houve uma inversão de prioridade de investimento final devido a maior vulnerabilidade da adutora de Maranguape, por conta de sua situação conservacional ser mais crítica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concepção das adutoras de montagem rápida como ação de mitigação à seca foi essencial para garantir a segurança hídrica de vários municípios no Ceará, elas foram executadas de forma rápida cumprindo o objetivo de minimizar os impactos da seca. Essa concepção, contudo, não foi vantajosa quando analisado os critérios de custos de manutenção.

Os registros apontados nesse trabalho são uma importante fonte de dados visto que muitas medidas adotadas e análise da situação atual dessas ações de resposta não se encontram registradas oficialmente em livros e documentos. Esses contínuos registros de respostas são necessários para conhecer todas as vulnerabilidades através das experiências passadas e assim mudar atitudes diante de secas futuras.

Os resultados do estudo evidenciam uma metodologia eficiente que proporcione ao gestor público gastar de modo otimizado os recursos financeiros a fim de proporcionar a continuidade do abastecimento à sociedade. A metodologia conseguiu descrever a realidade quanto à prioridade de investimento (PI), ratificando a hierarquia da importância estratégica das adutoras em estudo.

O *checklist* mostrou-se uma ferramenta fundamental para o cálculo da vulnerabilidade, pois conseguiu retratar fielmente a situação conservacional da infraestrutura hídrica, portanto o mesmo pode ser replicado para qualquer instituição que gerencia estrutura hídrica semelhante.

A incorporação da vulnerabilidade (V) no cálculo da prioridade de investimento (PI) foi uma inovação para a definição da previsão de gastos em manutenção de infraestruturas hídricas.

Para a complementação deste trabalho também pode ser analisado os projetos de concepção de outras adutoras de montagem rápida concebidas na fase IV que abrangeu outros municípios. Também pode-se expandir essa metodologia de forma inovadora para outras infraestruturas hídricas como canais e estações de bombeamento, pois a maior parte dos trabalhos com esse objetivo de estabelecer vulnerabilidades e importância estratégica são voltadas para aplicações em segurança de barragens.

Além disso, para trabalhos futuros, pode-se também analisar a concepção, os projetos, os custos e a execução do projeto de adutoras que está em fase inicial no estado do Ceará: MALHA D'ÁGUA, que é um sistema adutor de água tratada com captação realizada diretamente nos mananciais de maior garantia hídrica, com a implantação de estações de tratamento de água junto a estes reservatórios para posterior adução aos núcleos urbanos integrados ao sistema.

REFERÊNCIAS

- AL-BARQAWI, Hassan; ZAYED, Tarek. Infrastructure Management: integrated ahp/ann model to evaluate municipal water mains performance. **Journal Of Infrastructure Systems**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 305-318, dez. 2008. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)1076-0342\(2008\)14:4\(305\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)1076-0342(2008)14:4(305)).
- ALVALÁ, Regina C.s.; CUNHA, Ana Paula M.A.; BRITO, Sheila S.B.; SELUCHI, Marcelo E.; MARENGO, José A.; MORAES, Osvaldo L.L.; CARVALHO, Magog A. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 91, n. 1, p. 1-15, 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 2004.
- BARBOSA, E. F., LIMA B. P., & CIRILO, J. A. (2023). Metodologia de gestão de custos em manutenção de infraestruturas hídricas: estudo de caso nas adutoras de montagem rápida no Ceará. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 20, e4. <https://doi.org/10.21168/rega.v20e4>.
- BRANCO FILHO, Gil. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2008. 257 p.
- BRITO, Yáscara Maia Araújo de; BRITO, Higor Costa de; RUFINO, Iana Alexandra Alves; BRAGA, Cybelle Frazão Costa. Panorama da seca plurianual 2012–2018 no semiárido brasileiro: impactos hidrológicos, agrícolas e medidas de convivência. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 58, p. 1-21, 17 dez. 2021. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v58i0.74667>.
- CAMPOS, José Nilson Bezerra. **Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste: VULNERABILIDADE DO SEMI-ÁRIDO ÀS SECAS, SOB O PONTO DE VISTA DOS RECURSOS HÍDRICOS GT II**. Brasília: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República, 1994.
- CAMPOS, Vanessa Ribeiro; CAZARINI, Edson Walmir; CAMPOS, José Nilson Bezerra. Gerenciamento de portfólio de projetos de saneamento nos Comitês das Bacias PCJ: método multicritério para hierarquização. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 457-465, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-4152202020190376>.
- CEARA. Cogerh. Funceme. **PORTAL HIDROLOGICO DO CEARA**. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/app/pagina/show/170>>. Acesso em: 02 ago. 2022.
- CEARÁ. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará (Org.). **PLANO ESTRATÉGICO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ**. Fortaleza: INESP, 2009. 408 p. Disponível em: <<https://www.al.ce.gov.br/index.php/publicacoes-inesp?download=161:inesp...hidricos>>. Acesso em: 14 mar. 2022.

CIRILO, José Almir. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista Usp**, [S.L.], n. 106, p. 45, 2 set. 2015. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p45-58>.

CIRILO, José Almir. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200005>.

COGERH (Ceará). Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Análise do projeto básico, supervisão e acompanhamento, bem como elaboração do “As Built” das obras de construção das adutoras emergenciais**. Fortaleza: COGERH, 2014.

CORTEZ, Helder dos Santos; LIMA, Gianni Peixoto de; SAKAMOTO, Meiry Sayuri. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 83-118, 2017.

FONTENELLE, Alexandre de Sousa. **Proposta Metodológica de Avaliação de Riscos em Barragens do Nordeste Brasileiro - Estudo de Caso: Barragens do Estado do Ceará**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

FUNASA (Ed.). **Manual de saneamento: orientações técnicas**. Brasília: Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde Núcleo de Editoração e Mídias de Rede/ascom/presi/funasa/ms, 2006. 408 p.

GOMES, Heber Pimentel. **Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos**. 2. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2009. 141 p.

IPECE. **IPECE - PERFIL BÁSICO MUNICIPAL 2016: MARCO**. Marco: Ipece, 2016.

KLEINER, Yehuda; RAJANI, Balvant. Forecasting variations and trends in water-main breaks. **Journal of infrastructure systems**, v. 8, n. 4, p. 122-131, 2002.

LUCENA, Daisy Beserra; GOMES FILHO, Manoel F.; SERVAIN, Jacques. Avaliação do impacto de eventos climáticos extremos nos oceanos pacífico e atlântico sobre a estação chuvosa no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 26, n. 2, p.297-312, jun. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862011000200013>.

MAGALHÃES, Antônio Rocha. **Vida e seca no Brasil**. In: Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; Banco Mundial, 2016. Cap 1, p. 19-35.

MARENGO, José A.; ALVES, Lincoln M.; ALVALA, Regina C.S; CUNHA, Ana Paula; BRITO, Sheila; MORAES, Osvaldo L.L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 90, n. 21, p. 1973-1985, ago. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MEDEIROS, Alexandre Magno Teodosio de; BRITO, Antônio Cavalcanti de. A seca no Estado da Paraíba–Impactos e ações de resiliência. **Parcerias Estratégicas**. Brasília-DF, v. 22, n. 44, p. 139-154, 2017.

MENDES, Luzia Suerlange Araujo dos Santos; SILVA NETO, Tomaz Alexandre da; SOUSA, Joyce Shantala Fernandes de Oliveira; SILVA NETO, Cláudio Ângelo da; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno; VANCONCELOS, Mickaelon Belchior; BRAGA, Erika de Almeida Sampaio; GIRÃO, Fátima Andréa Lima; SALGUEIRO, Ana Rita Gonçalves Neves Lopes. Diagnóstico da oferta hídrica do município de Russas (CE): uma análise descritiva como subsídio à gestão sustentável dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 1612, 20 jul. 2021. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1612-1625>.

MENESCAL, R.A.; CRUZ, P.T.; CARVALHO, R.V.; FONTENELLE, A.S. & OLIVEIRA, S.K.F. Uma Metodologia para Avaliação do Potencial de Risco em Barragens do Semi-Arido. **XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens**, Anais, Fortaleza – Ce. 2001.

MOBLEY, R. Keith. **An Introduction to Predictive Maintenance**. 2. ed. [s.i]: Butterworth-heinemann, 2002. 438 p.

MORCILLO, M.; CHICO, B.; DÍAZ, I. **Atmospheric corrosion data of weathering steels. A review**. 2013. 19 f. Tese (Doutorado) - Curso de Corrosion Science, National Centre For Metallurgical Research, Madrid, 2013.

MOSCATI, M. C. L.; GAN, M. A. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. *International Journal of Climatology*, n. 27, p. 493-512, 2007

NETTO, José Martiniano Azevedo. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1998. 669 p.

NUNES, Luiz; MEDEIROS, Pedro. Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 18, 9 set. 2020. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v17e18>.

OLIVEIRA, Laécio da Cunha. **Dinâmicas territoriais locais e o uso das águas: uma análise da gestão das águas da barragem de Santa Cruz do Apodi-RN**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2020.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>>. Acesso em: 16 out. 2021.

OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. A Proposta de Desenvolvimento de Gestão da Manutenção Industrial na busca da Excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, Manaus, v. 4, n. 2, p. 01-16, 01 out. 2008.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica** 4. ed – São Paulo: EESC-USP, 2006, 540 p.

RAHMAN, Sarker; ZAYED, Tarek. Condition Assessment of Water Treatment Plant Components. **Journal Of Performance Of Constructed Facilities**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 276-287, ago. 2009. American Society of Civil Engineers (ASCE).
[http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000011](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000011).

RAJA, V.K. Bupesh; PALANIKUMAR, K.; RENISH, R. Rohith; BABU, A.N. Ganesh; VARMA, Jashwanth; GOPAL, P. Corrosion resistance of corten steel – A review. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 46, p. 3572-3577, 2021. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.334>.

SAATY, T.L.A. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p 234-281, 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)900335](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)900335).

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; HARLAND, Christine; HARRISON, Alan; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1999.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002.

SOARES, Sebastião Roberto. Análise multicritério e gestão ambiental. In: PHILIPPI JUNIOR, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. (Ed.). Curso de gestão ambiental. Baureri, Manole, 2004. 1050 p.

SOUSA, Joyce Shantala Fernandes de Oliveira; MENDES, Luzia Suerlange Araújo dos Santos; VASCONCELOS, Mickaelon Belchior; SALGUEIRO, Ana Rita Gonçalves Neves Lopes; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno. Scenario and water supply diagnosis for human consumption in the municipality of Aracati, Ceará. **RBRH**, [S.L.], v. 27, p. 1-10, out. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.272220220027>.

SOUZA FILHO, Francisco de Assis de. Águas do futuro e o futuro das águas. In: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). **A questão da água no Nordeste**. Brasília, DF, 2012. Cap 6, p.183-220. (ISBN978-85-60755-45-5).

SOUZA FILHO, Francisco de Assis. **CEARÁ 2050: diagnóstico dos recursos hídricos**. Fortaleza: UFC, 2018. 94 p.

TSCHEIKNER-GRATL, Franz; EGGER, Patrick; RAUCH, Wolfgang; KLEIDORFER, Manfred. Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods for Integrated Rehabilitation Prioritization. **Water**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 68, 24 jan. 2017. MDPI AG.
<http://dx.doi.org/10.3390/w9020068>.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Usp, 2006. 643 p.

UNIÃO, Controladoria-Geral da. **Relatório de Fiscalização nº 201801746**: Brasília: 2018. Disponível em: <<https://auditoria.cgu.gov.br/download/12933.pdf>>. Acesso em: 30 agosto 2022.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 194 p.

WILHITE, Donald; HAYES, Michael; KNUTSON, Cody. Drought preparedness planning: building institutional capacity. In: WILHITE, Donald *et al.* **Drought and water crises. Science, technology, and management issue**. Boca Raton: Taylor And Francis, 2005. p. 93-136.

WWAP, United Nations World Water Assessment Programme. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2018: soluções baseadas na natureza para a gestão da água**. Paris: Unesco, 2018. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002615/261579por.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2022.

ANEXO A – REGISTROS FOTOGRÁFICOS

A.1 Maranguape

Figura 32–AMR de Maranguape: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

Figura 33–ETA Amanari: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

A.2 Caririaçu

Figura 34 – AMR de Caririaçu: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

Figura 35 – AMR de Caririaçu: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

A.3 Crateús

Figura 36 – AMR de Crateús: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

Figura 37 – AMR de Crateús: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

A.4 Potiretama

Figura 38 – AMR de Poriretama: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

Figura 39 – AMR de Poriretama: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

A.5 Quiterianópolis

Figura 40-AMR Quiterianópolis: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

Figura 41-AMR Quiterianópolis: Construção



Fonte: COGERH – 2014.

A.6 Tauá

Figura 42 – AMR de Tauá



Fonte: COGERH – 2014.

Figura 43 – AMR de Tauá



Fonte: COGERH – 2014.

APÊNDICE A – MODELO DE CHECKLIST DAS ADUTORAS

FICHA DE INSPEÇÃO FORMAL – ADUTORAS										
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ										
SECRETÁRIA DE RECURSOS HÍDRICOS										
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS										
GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO										
DADOS GERAIS:										
ADUTORA					AÇUDE CAPTAÇÃO:					
Nome do aplicador:					Data da última vistoria:					
Função do aplicador:					Data da vistoria:					
SITUAÇÃO DA ANOMALIA:										
NE: Problema não existente					PR: Problema resolvido					
NA: Problema não se aplica					DI: Problema diminuiu					
NI: Item não inspecionado (informar motivo)					PC: Problema permaneceu constante					
PV: Problema verificado pela primeira vez					AU: Problema aumentou					
INTENSIDADE DO PROBLEMA:										
P – Pequena:		Não compromete operacionalidade da adutora, mas anomalia deve ser corrigida pela gerência regional								
M – Média:		Risco da operacionalidade da adutora, anomalia deve ser resolvido pela gerência de manutenção.								
G – Grande:		Operacionalidade da adutora em iminência, manutenção imediata pela gerência de manutenção.								
					LOCALIZAÇÃO	SITUAÇÃO		P	M	G
INFRAESTRUTURA TOTAL										
				Adutora não operacional devido a problemas técnicos				0	0	0
A	TRECHO ENTERRADO	A1	TUBULAÇÕES E CONEXÕES		COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G	
		A1.1	Sinais de umidade no solo ao longo do eixo da adutora				0	0	0	
		A1.2	Surgência de água na superfície do solo acima da adutora				0	0	0	
		A1.3	construções irregulares sobre a linha da adutora				0	0	0	
		A1.4	Ausência de piquetes de identificação ao longo da adutora				0	0	0	
		A1.5	Presença excessiva de vegetação no eixo da adutora				0	0	0	
		A1.6	Dificuldade de acesso à linha da adutora				0	0	0	
		A2	REGISTROS, VÁLVULAS E VENTOSAS		COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G	
		A2.1	Sinais de corrosão ou deficiência na pintura				0	0	0	
		A2.2	Parafusos dos flanges sem pintura ou oxidados				0	0	0	
		A2.3	Inoperância ou travamento das peças hidromecânicas				0	0	0	
		A2.4	Má instalação ou ausência de conexões para a manutenção				0	0	0	
		A2.5	Sinais de vazamento nos equipamentos hidromecânicos				0	0	0	
		A2.6	Vandalismo nos equipamentos hidromecânicos				0	0	0	

B	TRECHO AÉREO	B1	TUBULAÇÕES E CONEXÕES	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		B1.1	Sinais de deformação superficial			0	0	0
		B1.2	Sinais de corrosão devido à ausência de pintura			0	0	0
		B1.3	Deficiência na solda helicoidal			0	0	0
		B1.4	Deficiência nos colares ou nas borrachas de vedação			0	0	0
		B1.5	Vazamento pela superfície do tubo			0	0	0
		B1.6	Ausência de pilaretes de sustentação			0	0	0
		B1.7	Pilaretes de sustentação com trincas ou danificados			0	0	0
		B1.8	Ausência ou fixação inadequada das abraçadeiras			0	0	0
		B1.9	Presença de vegetação arbustiva/semi-arbustiva nos tubos			0	0	0
		B1.10	Deflexão anormal dos tubos			0	0	0
		B1.11	Ausência de defensas em trechos de estradas estaduais			0	0	0
		B1.12	Defensas defeituosas ou comprometidas			0	0	0
		B1.13	Dificuldade de acesso à linha da adutora			0	0	0
C	CAIXAS DE PROTEÇÃO	B2	REGISTROS, VÁLVULAS, VENTOSAS	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		B2.1	Sinais de corrosão ou deficiência na pintura			0	0	0
		B2.2	Parafusos dos flanges sem pintura ou oxidados			0	0	0
		B2.3	Inoperância ou travamento das peças hidromecânicas			0	0	0
		B2.4	Ausência ou manômetros inoperantes em trechos estratégicos			0	0	0
		B2.5	Má instalação ou ausência de conexões para a manutenção			0	0	0
		B2.6	Sinais de vazamento nos equipamentos hidromecânicos			0	0	0
		B2.7	Vandalismo nos equipamentos hidromecânicos			0	0	0
C1	CAIXAS DE PROTEÇÃO	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G		
C1.1	Deficiência na pintura da caixa de proteção			0	0	0		
C1.2	Ausência de identificação da caixa de proteção			0	0	0		
C1.3	Trincas ou fissuras na caixa			0	0	0		
C1.4	Ferragem aparente no concreto da caixa			0	0	0		
C1.5	Ausência de tampas de acesso			0	0	0		
C1.6	Tampas de acesso quebradas ou danificadas			0	0	0		
C1.7	Ausência de escada de acesso ao interior da caixa			0	0	0		
C1.8	Drenagem ineficiente dentro da caixa			0	0	0		
C1.9	Assoreamento na caixa de acesso			0	0	0		
C1.10	Presença de animais peçonhentos ou outros animais			0	0	0		
C1.11	Sinais de recalques devido ao desnivelamento			0	0	0		
C1.12	Ancoragens inadequadas ou ausentes no interior da caixa			0	0	0		
C1.13	Subdimensionamento p/ acionar os dispositivos de manobra			0	0	0		

		C2	BLOCOS DE ANCORAGEM	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		C2.1	Ausência de blocos de ancoragem			0	0	0
		C2.2	Blocos de ancoragem mal localizados ou mal projetados			0	0	0
		C2.3	Fissuras ou trincas nos blocos de ancoragem			0	0	0
		C2.4	Presença de ferragens expostas no concreto			0	0	0
		C2.5	Ausência de pintura			0	0	0
		C2.6	Sinais de recalques devido a desnivelamento			0	0	0
D	TAU / REL / RAP	D1	TORRE DE ALÍVIO UNIDEREACIONAL	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		D1.1	Sinais de vazamento na estrutura do TAU			0	0	0
		D1.2	Pintura externa ausente ou deficiente			0	0	0
		D1.3	Sinais de fissuras ou trincas na torre			0	0	0
		D1.4	Ausência ou furto da cerca de proteção no entorno do TAU			0	0	0
		D1.5	Vazamentos nas tubulações ou/e conexões			0	0	0
		D1.6	Registros e válvulas com problemas de operacionalidade			0	0	0
		D1.7	Ausência/deficiência na pintura das tubulações e conexões			0	0	0
		D1.8	Ausência da escada de acesso externo			0	0	0
		D1.9	Escada de acesso externo sem pintura ou deficitária			0	0	0
		D1.10	Excesso de vegetação semi-arbustiva ou rasteira			0	0	0
		D2	RESERVATÓRIO APOIADO	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		D2.1	Pintura ausente ou deficitária: guarda corpo ou estrutura civil			0	0	0
		D2.2	Sinais de trincas ou fissuras nas placas ou na estrutura civil			0	0	0
		D2.3	Vazamentos ou surgência na sua estrutura			0	0	0
		D2.4	Equipamentos hidromecânicos sem operacionalidade			0	0	0
		D2.5	Vazamentos nas tubulações/conexões de chegada ou saída			0	0	0
		D2.6	Excesso de vegetação semi-arbustiva ou rasteira			0	0	0
		D3	RESERVATÓRIO ELEVADO	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		D3.1	Pintura ausente ou deficitária			0	0	0
		D3.2	Sinais de trincas ou fissuras			0	0	0
		D3.3	Escada de acesso interno/externo sem pintura ou deficitária			0	0	0
		D3.4	Registros e válvulas com problemas de operacionalidade			0	0	0
		D3.5	Vazamentos nas tubulações/conexões de chegada ou saída			0	0	0
		D3.6	Ausência de Proteção Contra Descargas Atmosféricas PCDA			0	0	0
		D3.7	Excesso de vegetação semi- arbustiva ou rasteira			0	0	0

E	SINALIZAÇÃO / SEGURANÇA E DOCUMENTOS	E1	DOCUMENTAÇÃO	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		E1.1	Ausência ou não utilização: Manual Operação/Manutenção			0	0	0
		E1.2	Ausência do Projeto Executivo e "Asbuilt" com as plantas.			0	0	0
		E1.3	Equipe de operação inexistente ou subdimensionada			0	0	0
		E1.4	Ausência de placa informativa ou placa furtada			0	0	0
		E1.5	Ausência de material de rotina para correção anomalia P			0	0	0
		E2	PLACAS DE AVISO E ESTAQUEAMENTO	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		E2.1	Placas de aviso danificadas ou ilegíveis			0	0	0
		E2.2	Placas de aviso furtadas			0	0	0
		E2.3	Letreiro de informação ilegível			0	0	0
		E2.4	Ausência da marcação das estacas ao longo da adutora			0	0	0
		E3	SEGURANÇA PATRIMONIAL	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		E3.1	Câmeras de monitoramento furtadas			0	0	0
		E3.2	Câmeras de segurança inoperantes			0	0	0
		E3.3	Casa de apoio da segurança em má conservação			0	0	0
E3.4	Vigilância patrimonial sem logística ou ausente			0	0	0		
F	OUTRAS ESTRUTURAS	F1	EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		F1.1	Sistema de automação com defeito			0	0	0
		F1.2	Proteção Catódica inoperante			0	0	0
		F1.3	Medidor de vazão inoperante ou ausente			0	0	0
		F1.4	Caixa do medidor de vazão danificada			0	0	0
		F2	TRAVESSIA SOB TALVEGUES	COORDENADAS UTM	SITUAÇÃO	P	M	G
		F2.1	Deflexão no perfil metálico			0	0	0
		F2.2	Sinais de corrosão no perfil metálico por falta de pintura			0	0	0
		F2.3	Sinais de vazamentos			0	0	0
		F2.4	Ausência de chumbadores			0	0	0
F2.5	Suporte com sinais de corrosão ou comprometidos			0	0	0		
F2.6	Ausência ou deformação das abraçadeiras			0	0	0		