



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
DOUTORADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARIA APARECIDA BEZERRA OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADAS EM
CISTERNAS DE PLACAS NA MICRORREGIÃO DO ALTO SERTÃO PARAIBANO**

**CAMPINA GRANDE - PB
2025**

MARIA APARECIDA BEZERRA OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADAS EM
CISTERNAS DE PLACAS NA MICRORREGIÃO DO ALTO SERTÃO PARAIBANO.**

Tese apresentada à Coordenação do Curso de Doutorado em Engenharia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Tecnologias de Tratamento de Água e de Resíduos.

Orientador(a): Prof. Dr. Valdeir Mangabeira Leite

**CAMPINA GRANDE - PB
2025**

O48a Oliveira, Maria Aparecida Bezerra.

Avaliação da qualidade de água de chuva armazenadas em cisternas de placas na microrregião do alto sertão paraibano [manuscrito] / Maria Aparecida Bezerra Oliveira. - 2024.
163 f.: il. color.

Digitado.

Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Valderi Duarte Leite, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT".

1. Reservatório hídrico. 2. Estiagem prolongada. 3. Comunidades rurais. 4. Parâmetros de potabilidade. I. Título

21. ed. CDD 628.1

MARIA APARECIDA BEZERRA OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADAS EM
CISTERNAS DE PLACAS NA MICRORREGIÃO DO ALTO SERTÃO PARAIBANO.

Tese apresentada à Coordenação do
Curso de Doutorado em Engenharia
Ambiental da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de Doutora em Engenharia
Ambiental.

Aprovada em: 13/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **Laércio Leal dos Santos** (***.451.154-**), em **08/03/2025 09:27:36** com chave **b79807b6fc1811efa2341a7cc27eb1f9**.
- **Valderi Duarte Leite** (***.793.904-**), em **08/03/2025 09:11:46** com chave **81cf9434fc1611ef8e7c1a7cc27eb1f9**.
- **EDNA LUCIA DA ROCHA LINHARES** (***.405.304-**), em **08/03/2025 10:42:07** com chave **2092ccf6fc2311efad751a7cc27eb1f9**.
- **ELYSSON MARCKS GONÇALVES ANDRADE** (***.009.403-**), em **09/03/2025 16:21:35** com chave **b751e48afd1b11ef9c091a1c3150b54b**.
- **VIRGÍNIA DE FÁTIMA BEZERRA NOGUEIRA** (***.356.664-**), em **14/03/2025 16:21:50** com chave **948e816e010911f0bd7f1a7cc27eb1f9**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QrCode ao lado ou acesse https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Folha de Aprovação do Projeto Final

Data da Emissão: 26/03/2025

Código de Autenticação: e6da38



DEUS, minha família e aos amigos de verdade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Deus pela oportunidade da vida e pela fé constante. Muitos foram os momentos em que pensei em desistir, mas a bondade de Deus na minha vida sempre foi maior.

A minha mãe, Josefa, que sempre me olhou com amor, orgulho e confiança. Sempre acreditou e apoiou meus sonhos, assim como, investiu seu tempo em cuidar cuidadosamente de mim e dos meus irmãos. E mesmo com seu pouco estudo, me direcionou da melhor forma para conquistar todos os títulos.

Ao meu pai, Rosimildo, pelo cuidado constante e por suas diferentes linguagens de amor. Mesmo sem nunca ter estudado, conseguiu transmitir a importância e necessidade de estudar.

Aos meus irmãos, Fatinha, Neném, Didi, Roselio, Edenir e Chico. Por toda minha vida, lembrarei dos nossos momentos, assim como do incentivo que vocês sempre deram.

A Maria Helena, pelo amor e amizade. Você é especial em minha vida, e obrigada pelo apoio diário, paciência nos momentos de renúncias e incentivos constantes.

As minhas filhas de coração, Melina e Xaxa. Por muitas noites, aguardaram e fizeram companhia, enquanto escrevia, estudava ou trabalhava.

Aos amigos que incentivaram e ajudaram durante este processo, especialmente a Eliza, uma amiga fiel na minha vida.

Aos professores que tive durante toda minha trajetória acadêmica. Em especial ao professor Valderi, pela gentileza durante todo esse processo.

Aos profissionais da EXtrabes.

Aos membros da banca examinadora pelas observações e orientações.

“Deus é fiel. Deus é bom. Deus Honra.
Deus cuida. Deus é digno de toda honra e
glória”.

RESUMO

As cisternas de placas representam uma solução prática para lidar com as limitações hídricas no semiárido Brasileiro. Na presente pesquisa, os municípios estudados são o de Sousa e São João do Rio do Peixe, onde foi analisada a água de 20 cisternas destes municípios. A metodologia envolveu a coleta de 20 amostras de água de cisternas dos dois municípios. Foram analisados os parâmetros físico-químicos do pH, Turbidez, Amônia, Nitrito, Alcalinidade, Dureza, Cor, Fósforo, Nitrato, Condutividade, Cloretos e Biológicos. Utilizaram-se os testes estatísticos por comparação de médias, com testes realizados pelo software Excel, com nível 5% de significância (00,5), sendo a hipótese nula rejeitada, caso o valor- $p \leq \alpha$. A análise estatística foi realizada no *software Excel*, utilizando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Os resultados indicaram ocorreu maior variabilidades de parâmetros como amônia, Nitrato, Dureza e Condutividade nas águas de cisternas em relação ao mês de setembro de 2023 e abril de 2024, mostrando que no período chuvoso há uma diferença na composição da água. Também foi observado que ocorreu outliers, ou seja, um desvio significativamente da tendência geral de um conjunto de dados nos parâmetros, tais como Amônia e condutividade, que mostraram pontos abaixo dos valores mínimos para água coletada em set de 2023. Já a alcalinidade apresentou valores acima do ponto máximo para o período abril 2024. Com relação a valores extremo, foi possível observar no parâmetro condutividade no mês de set 2023 para abril de 2024, acima dos pontos máximos. Os parâmetros estudados apresentaram resultados comparativo de média os quais a Hipótese H_0 não é rejeitada, demonstrando que não houve mudanças bruscas entre os valores das medianas referente a qualidade de água coletada entre os períodos. As análises estatísticas confirmaram correlações entre práticas de manutenção deficientes e parâmetros de potabilidade comprometidos, confirmado pela análise bacteriológica pelo teste COLILERT em que 100% das amostras estavam contaminadas por *E. coli*. Conclui-se que as cisternas de placas desempenham um papel crucial no fornecimento de água em comunidades rurais, mas sua eficácia depende de ações integradas que incluam treinamento comunitário, melhorias na infraestrutura e monitoramento contínuo da qualidade da água.

Palavras-chave: reservatório hídrico; estiagem; comunidades rurais; parâmetros de potabilidade.

ABSTRACT

Plate cisterns represent a practical solution to deal with water limitations in the Brazilian semi-arid region. In this research, the municipalities studied are Sousa and São João do Rio do Peixe, where water from 20 cisterns in these municipalities was analyzed. The methodology involved the collection of 20 water samples from cisterns in the two municipalities. The physical-chemical parameters of pH, Turbidity, Ammonia, Nitrite, Alkalinity, Hardness, Color, Phosphorus, Nitrate, Conductivity, Chlorides and Biological were analyzed. Statistical tests were used by comparing means, with tests performed using Excel software, with a 5% significance level (00.5), with the null hypothesis being rejected if the p-value $\leq \alpha$. Statistical analysis was performed using Excel software, using a significance level of 5% ($\alpha = 0.05$). The results indicated that there was greater variability in parameters such as ammonia, nitrate, hardness and conductivity in cistern water compared to September 2023 and April 2024, showing that during the rainy season there is a difference in the composition of the water. It was also observed that outliers occurred, that is, a significant deviation from the general trend of a data set in parameters such as Ammonia and conductivity, which showed points below the minimum values for water collected in September 2023. Alkalinity showed values above the maximum point for the period April 2024. Regarding extreme values, it was possible to observe in the conductivity parameter in the month of September 2023 to April 2024, above the maximum points. The parameters studied presented comparative average results in which Hypothesis H_0 is not rejected, demonstrating that there were no sudden changes between the median values regarding the quality of water collected between the periods. Statistical analyses confirmed correlations between poor maintenance practices and compromised potability parameters, confirmed by bacteriological analysis using the COLILERT test in which 100% of the samples were contaminated by *E. coli*. It is concluded that slab cisterns play a crucial role in providing water in rural communities, but their effectiveness depends on integrated actions that include community training, infrastructure improvements and continuous monitoring of water quality.

Keywords: water reservoir; drought; rural communities; potability parameters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Regiões hidrográficas do Brasil.....	25
Figura 2 – Classificação das águas doces conforme a resolução CONAMA 357/2005 e ANA.....	29
Figura 3 – Regiões do Brasil	32
Figura 4 – Região Nordeste do Brasil	33
Figura 5 – Distribuição espacial dos postos pluviométricos no polígono das secas..	38
Figura 6 – Desenho de uma cisterna de placa implementada na zona rural.....	48
Figura 7 - Cisterna-enxurrada	50
Figura 8 - Cisterna calçadão para benefício de plantações.....	51
Figura 9 – Cisterna de barragem subterrânea.....	52
Figura 10 – Cisterna subterrânea.....	53
Figura 11 - Barreiro –Trincheira	54
Figura 12 - Barraginha.....	55
Figura 13 – Tanque de pedra.....	56
Figura 14 – Mapa do Estado da Paraíba.....	58
Figura 15 – Mapa das Bacias Hidrográficas do estado da Paraíba.....	59
Figura 16 – Tecnologias Sociais Hídricas implementadas no Estado da Paraíba.....	62
Figura 17- Área de atuação do Projeto COOPERAR por gerências regionais e escritórios.....	64
Figura 18 - Mulheres na construção de cisternas de placa	68
Figura 19 - Fluxograma dos estudos incluídos na revisão	70
Figura 20 - Processo de IS.....	82
Figura 21 - Poços Amazonas - Cacimbão	86
Figura 22 - Cacimba de Areia no leito do Riacho de Cacimba Nova.....	86
Figura 23 - Meio de transporte da água por animais e baldes	87
Figura 24 - Meio de transporte da água com balde na cabeça	87
Figura 25 – Análises realizadas entre os anos de 2014 a 2022.	91
Figura 26 – Resultados das análises com relação à potabilidade.....	92
Figura 27 - Diagrama de fluxos de produtos do Sítio Cacimba do Meio, Casa Nova, BA	93
Figura 28 - Fluxograma	96
Figura 29- Localização georreferenciada dos municípios	97

Figura 30 – Cisterna de Placa do Assentamento de Imaculada.....	100
Figura 31 - Armazenamento das amostras em garrafas PET	103
Figura 32 - Separação das amostras de água	105
Figura 33 - Cartela após passar pela seladora.....	105
Figura 34 - Cartelas na estufa	106
Figura 35 - Amostras de água com os reagentes.....	106
Figura 36 - Cartelas na incubadora	106
Figura 37- pH	116
Figura 38 - Cor	117
Figura 39 - Fósforo	117
Figura 40 - Dureza	117
Figura 41 - Condutividade	117
Figura 42 - Nitrito.....	117
Figura 43 - Nitrato	117
Figura 44 - Cloretos.....	118
Figura 45 - Amônia.....	118
Figura 46 - PH.....	128
Figura 47 - Turbidez	128
Figura 48 - Cor	128
Figura 49 - Dureza	128
Figura 50 - Nitrito.....	128
Figura 51 - Nitrato	128
Figura 52 - Alcalinidade.....	129
Figura 53 - Amônia.....	129
Figura 54 - Condutividade	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor referência dos parâmetros físicos	30
Tabela 2 – Valor de referência dos parâmetros químicos	30
Tabela 3 – Valor de referência quanto aos parâmetros biológicos.....	31
Tabela 4 – Plano de Financiamento do Projeto Paraíba Rural Sustentável	65
Tabela 5 – Caracterização dos estudos do uso dos variados tipos de cisternas bem como a mensuração de sua qualidade.....	71
Tabela 6 - Características gerais dos dez pontos de coletas	102
Tabela 7 - Qualidade de Água - setembro 2023 – SJRP.....	109
Tabela 8 - Qualidade de Água - abril 2024 - SJRP	110
Tabela 9 - Principais Resultados da Qualidade da Água - SJRP	113
Tabela 10 - Parâmetros de qualidade de água e parâmetros estatísticos (setembro 2023)	113
Tabela 11 - Parâmetros de qualidade de água e parâmetros estatísticos (abril 2024)	114
Tabela 12 - Qualidade de Água - setembro 2023 - Sousa	122
Tabela 13 - Qualidade de Água - abril 2024 - Sousa	123
Tabela 14 - Principais resultados da Qualidade da Água - Sousa	124
Tabela 15 - Parâmetros de qualidade de água e parâmetros estatísticos (setembro 2023)	124
Tabela 16 - Parâmetros de qualidade de água e parâmetros estatísticos (abril 2024)	126
Tabela 17 - Presença de <i>E. Coli</i> no mês de setembro de 2023, Riacho do Gila.....	140
Tabela 18- Presença de <i>E. Coli</i> no mês de abril de 2024, Riacho do Gila.....	141
Tabela 19: Presença de <i>E. Coli</i> no mês de setembro de 2023, Assentamento Imaculada.....	142
Tabela 20: Presença de <i>E. Coli</i> no mês de setembro de 2023, Assentamento Imaculada.....	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento
EPI	Equipamento de Proteção Individual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
mg/l	Miligramas por Litro
mm/mês	Milímetros por Mês
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
°C	Grau Celsius
P1+2	Programa uma Terra e duas Águas
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial de Hidrogênio
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
SJRP	São João do Rio do Peixe
uH	Unidade Hazen
µs/cm	Micro-Siemens por Centímetro

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação ambiental das doenças relacionadas com água	23
Quadro 2 – Classificação das águas doces	28
Quadro 3 – Estrutura administrativa das gestões.....	65
Quadro 4 - Categorias e doenças transmitidas pela água contaminada	89
Quadro 5 - Causas e contaminações pela água não tratada	89
Quadro 6 - Metodologia aplicada aos ensaios	104

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	Água no planeta terra, aspectos quali/quantitativos.....	17
2.2	Água no Brasil: aspectos quali/quantitativos	23
2.3	Água na região Nordeste do Brasil.....	31
2.3.1	<i>Polígono das secas</i>	35
2.4	A gestão dos recursos hídricos no Brasil caminhos e descaminhos	39
2.5	A política das cisternas de placas e seus impactos na região semiárida do Nordeste brasileiro e no estado da Paraíba	45
2.6	Programa cooperar no estado da Paraíba.....	60
2.6.1	<i>Gestão atual do programa cooperar</i>	62
2.6.2	<i>Qualidade da água das cisternas do estado da Paraíba.....</i>	69
2.7	A inovação social em meio aos programas de entregas de cisternas	80
2.8	Contribuições sociais mediante a entrega das cisternas para o Sertão Paraibano	85
3	METODOLOGIA	96
3.1	Caracterização do local da pesquisa.....	97
3.2	Fundamentação teórica	99
3.3	Visitas <i>in loco</i> e coleta de amostras de água.....	99
3.4	Ensaio laboratoriais	104
3.5	Tabulação dos dados.....	106
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	108
4.1	São João do Rio do Peixe-PB.....	108
4.2	Município de Sousa.....	120
4.3	Análise bacteriológica	140
5	CONCLUSÕES	145
	REFERÊNCIAS	148

1 INTRODUÇÃO

Dentre as 5 regiões do país, o Nordeste apresenta uma vulnerabilidade social, econômica e ambiental, ademais é onde está grande parte do semiárido brasileiro. Sendo localizado no centro da região, compreendendo os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia (IBGE, 2022).

O Semiárido apresenta índices de altas temperaturas, irregularidades de chuvas, escassez e precipitações em curtos períodos, causando uma insuficiência no volume de água para atender às demandas populacionais, sendo este considerado um problema crônico (Leal, 2015).

Esse problema converge para a escassez de recursos hídricos de qualidade para o consumo humano, derivando um dos principais desafios enfrentados por comunidades rurais que vivem nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. Tendo maior agravo pela desigual distribuição geográfica da água, considerando os fatores climáticos e à insuficiência de infraestruturas para coleta, armazenamento e tratamento de água (Estender; Siqueira, 2019; Almeida *et al.*, 2020; Dantas *et al.*, 2021; Lopes *et al.*, 2021; Nery *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023).

Para a diminuição dos efeitos que castigam a população semiárida, as políticas públicas foram desenvolvidas e aplicadas nos municípios rurais do semiárido Paraibano para realizar o armazenamento das águas de chuva, tendo como exemplo o programa estadual Cooperar cujo objetivo é melhorar o acesso à água, reduzir a vulnerabilidade agroclimática e aumentar o acesso a mercados da população rural da Paraíba. Esse programa age diretamente na construção de cisternas, poços e dessalinizadores (Nunes; Silva, 2020).

As cisternas de placas são implantadas em diversas comunidades por meio de programas como o Cooperar. Essas estruturas permitem o armazenamento de água da chuva para atender às necessidades básicas das populações, especialmente em períodos de estiagem prolongada. Elas servem como reservatórios de concreto, geralmente com capacidade de 16 mil litros, específicos para captar e armazenar água da chuva coletada dos telhados das casas. Essa tecnologia permite que as famílias tenham acesso à água durante os períodos de estiagem prolongados, garantindo um fornecimento mínimo para consumo doméstico, alto (Brasil, 2011).

Entretanto, a eficácia dessas cisternas está diretamente relacionada à qualidade da água armazenada, a qual pode ser comprometida por diferentes fatores, como contaminação por agentes biológicos, alterações nos parâmetros físico-químicos e práticas inadequadas de manejo. A avaliação dos parâmetros de potabilidade da água dessas cisternas é, portanto, essencial para garantir a segurança do consumo humano e minimizar riscos à saúde das populações beneficiadas.

O referido programa atende a 11 municípios da alta região do semiárido. Os municípios de Sousa e São João do Rio do Peixe estão incluídos no programa e já receberam todas as cisternas destinadas às suas comunidades rurais. É importante destacar a necessidade de avaliação da qualidade da água armazenada nas referidas cisternas, tendo em vista que a população das referidas comunidades faz uso para consumo humano.

A escolha pelos municípios se fez por integrarem parte da região semiárida, onde apresenta problemáticas relacionadas aos baixos índices pluviométricos e a má distribuição do sistema de abastecimento público de água. Conforme problemática, políticas sociais de acesso à água ou reservatórios de armazenamento de água pluviais são desenvolvidos para amparar uma parcela da sociedade, em especial a população presente na zona rural.

Conforme a situação mencionada, o estado da Paraíba recebe apoio do programa Cooperar, cuja função é construir cisternas de placas em comunidades rurais para famílias de baixa renda. As referidas cisternas não possuem um sistema de tratamento para reservação, mas toda água armazenada é destinada para consumo humano, portanto é essencial o estudo de qualidade de água para fins de potabilidade da referida água armazenada nas cisternas de placas.

De acordo com Gomes (2020), a qualidade desta água armazenada nas cisternas está diretamente relacionada com as práticas de captação, com os materiais utilizados para construção, com a manutenção realizada pelos beneficiários e o desenho estrutural da mesma. O autor ainda coloca que essa qualidade e os riscos à saúde humana decorrentes de seu consumo estão diretamente relacionados.

Para Dantas (2013), é importante o monitoramento das características físico-químicas e microbiológicas referentes à qualidade da água armazenada nas cisternas e utilizada ao consumo humano. Independentemente de que sejam águas de chuva ou abastecidas por carros-pipa, com o objetivo único de garantir a qualidade

necessária para a promoção de saúde e vida nas regiões semiáridas, principalmente nos períodos de escassez hídrica.

Portanto, conforme a problemática sinalizada, o presente trabalho teve como objetivo analisar os parâmetros de potabilidade da água armazenada nas cisternas de placas em comunidades rurais atendidas pelo programa Cooperar. Sendo incluídas no estudo a comunidade rural do assentamento Imaculada, no município de Sousa e Riacho do Gila, em São João do Rio do Peixe-PB. A pesquisa teve como objetivo geral avaliar a qualidade da água fornecida; identificar possíveis riscos à saúde e propor informações que subsidiem a implementação de melhorias na gestão e no uso das cisternas. Para tal, os objetivos específicos incluíram analisar os parâmetros químicos, físicos e bacteriológicos para fins de consumo humano; apresentar os indicadores de qualidade da água com potencial interferência no consumo humano; mapear as cisternas construídas por meio do programa; e apresentar análises de significância entre os parâmetros de potabilidade avaliados.

A relevância deste estudo está alicerçada em sua contribuição à melhoria das condições de vida das populações que dependem dessas cisternas, promovendo um uso mais seguro e eficaz dos recursos hídricos disponíveis. Além disso, os resultados poderão auxiliar na formulação de políticas públicas mais direcionadas e eficientes, ampliando o impacto positivo das ações governamentais e comunitárias.

Ao longo da pesquisa, a abordagem foi estruturada em cinco capítulos. No capítulo 1, apresenta-se uma introdução ao tema, com o contexto, a problemática e os objetivos do estudo. O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica abrangente sobre os aspectos qualiquantitativos da água, normas de potabilidade e legislações aplicáveis. O capítulo 3 detalha a metodologia empregada para a coleta, análise e interpretação dos dados. No Capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, com foco nos parâmetros de qualidade da água e sua relação com os riscos à saúde. Por fim, o Capítulo 5 é dedicado às considerações finais, com as principais conclusões e recomendações para próximos estudos e ações práticas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Água no planeta terra, aspectos quali/quantitativos

A água é um elemento essencial para a vida de todos os seres vivos, inclusive dos seres humanos. Ela é o elemento inorgânico mais abundante na matéria viva. Se tratando de quantidade, no homem ela compõe 60% do seu peso, nas plantas, é até 90% e em alguns animais aquáticos, chega a 98% (Reis; Sanches; Maldonado, 2021).

De igual modo, a água é vital para o planeta Terra, ocupando em média, 75% da sua superfície, todavia é um elemento químico, com uma massa atraída pela força gravitacional do sistema terrestre (Vargas, 1999), se localizando na atmosfera e nas camadas superficiais terrestres (Singh; Bhargawa, 2019).

É considerada a substância mais abundante do planeta, encontrada em três estados físicos distintos, a saber: sólido, líquido e vapor. Ela está presente nos oceanos, rios e lagos; nas calotas polares e geleiras; no ar e no subsolo. De modo geral, a água dos oceanos representa cerca de 96% do total de água disponível na terra, juntamente com as águas salgadas subterrâneas e os lagos, que somam 98% da quantidade total de água salgada disponível. O restante é de água doce, representando 2% do total de água doce, e 70% delas estão nas geleiras e na atmosfera, enquanto somente 30% estão nas águas subterrâneas inatingíveis e superficiais (Simsen *et al.*, 2023).

Apesar de toda a sua abundância, uma das preocupações com esse bem tão vital, está nas mudanças climáticas ocasionadas pelas queimadas, poluição, liberação de CO₂ na atmosfera, poluição do solo e mares, acarretando fenômenos como o derretimento das geleiras, aumento do nível do mar e a seca (Simsen *et al.*, 2023). Há também o problema da desigualdade de distribuição da água, tendo em vista que existem lugares onde não há água suficiente, como no Continente Africano, com uma média de consumo de água por pessoa de dezenove metros cúbicos por dia, ou de dez a quinze litros por pessoa, enquanto em Nova York, as pessoas gastam muita água doce e limpa, o que pode levar a gastar mais de dois mil litros por dia (CETESB, 2013). Consoante a essa desigualdade:

Em alguns países, como Israel, Territórios Palestinos, Jordânia, Líbia, Malta e Tunísia, a escassez de água já atingiu níveis extremamente perigosos: existem

apenas 500 m³. enquanto a média de necessidades mínimas de uma pessoa é de 2000 m³. A falta de água afeta 26 países, além dos já mencionados, como Arábia Saudita, Iraque, Kuwait, Egito, Argélia, Burundi, Cabo Verde, Etiópia, Tailândia, Barbados, Hungria, Bélgica, México, Estados Unidos, França e Espanha (ONU, 2024).

Salienta-se que 0,014% de toda a água terrestre é predominantemente doce e facilmente acessível (Brasil, 2017). Contudo, da água restante, 97% é salina e pouco menos de 3% é de difícil acesso. Embora, tecnicamente, exista uma quantidade suficiente de água doce em uma escala global, sua distribuição é desigual, por situações regionais, sendo ainda mais agravada pelo aquecimento global, resultando em alguns locais geográficos extremamente úmidos contra alguns muito secos, exigindo um aumento acentuado na demanda global de água doce conforme o passar das décadas, com uma das causas impulsionada pela indústria, submetendo a humanidade a um enfrentamento de uma crise hídrica (Brasil, 2017).

A UNESCO, pelo Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos com a ONU (2021) destaca que a demanda global por água projetada entre os anos 2000 e 2050 apresenta um aumento de 400% para a manufatura e uma crescente de 140% para a geração de energia térmica, enquanto prevê a quase duplicação da captação de água industrial até o ano de 2030, atingindo um percentual de 22% em todo o mundo.

De acordo com Lanna (2008) para que esse bem vital responsável pela manutenção da vida, não fique cada vez mais escasso, devido ao seu uso ter aumentado consideravelmente, principalmente após a revolução industrial e avanços tecnológicos, diversificando o uso desse recurso, deve-se manter uma gestão pontual quanto aos cuidados qualitativos e quantitativos com a água do planeta, sendo necessário a implementação de ferramentas de planejamento e gestão, objetivando um uso racional e adequado, sem prejuízos para a sociedade e meio ambiente.

Devido ao crescimento populacional planetário, Fim (2018) sugere ações em prol da preservação dos recursos hídricos para poderem ser usados de maneira consciente para se evitar a depleção da disponibilidade hídrica, tanto quantitativa quanto qualitativa, minimizando conflitos relacionados à água.

Frente à demanda de decisões para a preservação da água, bem como de sua utilização de maneira sustentável, Vanelli e Kobiyama (2019) destacam a importância do conhecimento da Hidrologia, unindo as ciências naturais e as ciências sociais conforme preconizado pela Associação Internacional de Ciências Hidrológicas

(*International Association of Hydrological Sciences – IAHS*) originando a socio-hidrologia.

Conforme a definição aplicada pela UNESCO (1964, p. Online), a hidrologia “é uma ciência que trata sobre a água, em termos de ocorrência, circulação e distribuição no planeta, suas propriedades físicas e químicas e suas interações com os ambientes físicos e biológicos, incluindo suas respostas às atividades humanas”.

Vanelli e Kobiyama (2019) complementam que o ser humano é influenciador direto na constituição da água, seja no aspecto quantitativo ou qualitativo, portanto, o conceito de hidrologia, abarca a influência unidirecional da sociedade sobre a água. Nesse ínterim, a hidrologia prima pela conscientização socioambiental baseada na cientificidade.

Para assegurar a qualidade da água, os fiscalizadores e conhecedores das formas de poluição das águas são incisivos no interesse de qualificar a água potável, bem como cuidar para que não se tenha o risco de findar com essa forma mais preciosa de água para os seres humanos. Uma vez que, para ser própria para o consumo, deve ser: líqüida, doce e sem a presença qualquer de agentes patogênicos. Bem como precisa passar por análises qualitativas que asseguram de ela ser ou não potável (Guevara *et al.*, 2019).

De modo geral, os parâmetros que definem a potabilidade da água são preconizados por órgãos nacionais e internacionais, precisando ser respeitados rigorosamente a fim de permitir o acesso a fontes de água limpa para todos. E os índices de qualidade ao nível planetário são estabelecidos pela NSF (*National Sanitation Foundation*), sendo este, um órgão dos Estados Unidos internacionalmente reconhecido pelo estabelecimento de parâmetros e critérios sanitários (ONU, 2021).

Esses parâmetros foram espelhados nas ações realizadas no ano de 1974 diante ao Congresso Norte Americano que aprovou o *Safe Drinking Water Act* (SDWA) junto à Lei de água de consumo seguro, correspondendo à norma de potabilidade do Ministério da Saúde Brasileiro (Freitas; Freitas, 2005).

Na sequência, o SDWA estabeleceu valores máximos e mínimos para uma variada série de compostos orgânicos e inorgânicos na água de abastecimento, e conforme as técnicas laboratoriais eram aprimoradas, novos valores máximos iam sendo descobertos, e quando permitidos foram estabelecidos (Guevara *et al.*, 2019).

Na atualidade, o SDWA é administrado pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), da qual adota duas categorias de padrão de potabilidade:

o *National Primary Drinking Water Regulation* (NPDWR), e o *National Secondary Drinking Water Regulation* (NSDWR) (Freitas; Freitas, 2005).

Desde que os países europeus estipularam tais padrões de qualidade da água potável em meio ao *International Standards for Drinking-Water* no ano de 1958, se firmou um documento que estabeleceu os requisitos mínimos de qualidade de abastecimento doméstico, junto de novos métodos adequados para a análise (Pinto, 2006).

A estratégia foi então adotada pela Organização Mundial de Saúde, que se preocupava em incentivar outros países, objetivando a melhoria da qualidade da água oferecida. Contudo, havia um distanciamento entre os padrões considerados 'europeus' e os chamados 'padrões internacionais': os internacionais estabeleciam limites mínimos, que poderiam ser alcançados, inclusive, por países em desenvolvimento; enquanto os europeus, devido ao aparato econômico e tecnológico, apresentavam padrões mais rígidos (Guevara *et al.*, 2019; Pinto, 2006).

Após variadas atualizações o *Guidelines for Drinking Water Quality* (GDWQ), mais atualizado, foi publicado no ano de 2022 seguindo as diretrizes estabelecidas em sua reedição anterior do ano de 2017, determinante dos padrões microbiológicos, químicos, radioativos e organolépticos, trazendo em seu bojo metas de proteção à saúde das populações. Tendo ainda a quarta edição incorporando o primeiro e o segundo adendos, 4ª edição + 1ª adição + 2ª adição (WHO, 2022).

Os objetivos propostos estabelecem um marco referencial para que as companhias e suas entidades reguladoras se adéquem aos sistemas de abastecimento. O documento elenca as metas quantificáveis com relação à saúde, como carga tolerável de doença; de qualidade da água, refletidas, em valores recomendados para determinado composto tóxico; e de desempenho e de tecnologia.

Portanto, se priorizam os aspectos referentes à gestão da qualidade da água diante das mudanças climáticas e situação de escassez; revisão de substâncias químicas, considerando as novas constatações científicas. Tendo em vista os parâmetros compondo dados quali/quantitativos, que apontam o índice de componentes baseado na aplicação de nove critérios: i) oxigênio dissolvido na água; ii) coliformes termos tolerantes; iii) pH; iv) DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); v) temperatura; vi) nitrogênio total; vii) fósforo total; viii) turbidez e ix) resíduos totais (Guevara *et al.*, 2019).

Os parâmetros norteiam a adequação quanto à remoção de bactérias, protozoários, vírus e outros microrganismos nocivos. Controlando a redução do excesso de impurezas e dos teores elevados de compostos orgânicos, define elementos estéticos da água, como a correção da cor, do sabor e do odor (Guevara *et al.*, 2019).

Em suma, a potabilidade se deriva de um conceito universal, mas as normas e padrões de potabilidade nos diferentes países variam de acordo com aspectos ambientais, como a qualidade das águas captadas para potabilização, para aspectos sociais, culturais, econômicos e tecnológicos, que podem influenciar na viabilidade de aplicação das normas (Pinto, 2006). Assim, cada país deveria considerar aspectos epidemiológicos, os ensaios toxicológicos e de qualidade de água, estabelecendo padrões de potabilidade passíveis de aplicação, monitoramento, controle e vigilância.

A água potável é encontrada: i) nos rios e canais superficiais, sendo bons para armazenar água, especialmente nas áreas de terra plana, que têm um relevo suave e são menos sujas devido à poluição; ii) lagos, lagoas e outros reservatórios formados em terrenos elevados, os quais, são utilizados como fontes de água potável, estando menos sujos e com menor risco de contaminação; iii) aquíferos, sendo as reservas de água subterrânea, boas fontes de água potável. São extremamente importantes para a obtenção de água para o consumo em países de clima seco e árido (Teixeira *et al.*, 2007).

Observa-se que as principais fontes de água potável no planeta são de origem natural, ou seja, são reservatórios encontrados na natureza tanto na superfície da Terra quanto no seu subsolo. No entanto, nem sempre essa água está isenta de agentes poluidores, requerendo o uso de um método de tratamento prévio para que, somente então, ela possa ser consumida seguramente (Machado *et al.*, 2021).

Ferreira *et al.* (2024) asseveram que a mensuração qualitativa da água do planeta é sem dúvida fundamental, contudo, são necessárias medidas político-preventivas do desmatamento e da defaunação, pois as ações do homem possuem proporcionalidade nas alterações dos aspectos quali/quantitativos da água, acarretando as perturbações físicas e químicas aos oceanos e ao aquecimento global e mudanças climáticas.

Essa percepção dos autores supracitados se faz devido à sua pesquisa quali/quantitativa acerca da crise ambiental global em sua conjuntura e interpretações. A revisão bibliográfica e documental apresentou que as alterações químicas nos

oceanos em decorrência do aumento de CO₂ atmosférico é o principal indicador para a preservação da água potável.

Tendo em vista a crescente dissolução de CO₂ acarretando a acidificação da água. Esse evento tem consequências para a biota e para a própria dinâmica de interação química oceano-atmosfera. De mais a mais, os autores encontraram como resultado alterações na temperatura e no volume oceânico, incluindo aumentos nos níveis altimétricos das águas (Ferreira *et al.*, 2024).

Para Black *et al.* (2010) a qualidade da água potável ao nível planetário, deve ser mensurada consoante aos parâmetros biológicos, pois, os agentes patológicos disseminam as doenças diarreicas, frequentemente relacionadas à ingestão de água contaminada, causando a morte de mais de 1,5 milhão de crianças abaixo de 5 anos, por ano.

Ensejando cercear o número de contaminação humana pelo consumo de águas infectadas, alguns modelos epidemiológicos foram propostos em prol da explicação da relação causal entre as ações de saneamento e saúde. Um deles foi proposto por Heller (1998), centrando-se na compreensão sanitária sobre o abastecimento de água e esgotamento sanitário, em desvantagens das outras ações de saneamento.

Antes à proposta de Heller (1998), na década de 1970, os estudos epidemiológicos abordavam a classificação biológica clássica agrupando as doenças em função de seu agente etiológico, mas com o modelo, passou a ser considerado as vias de transmissão bem como o ciclo das doenças e estratégias ambientais de controle (Heller, 1997).

Destarte, em 1983, foi proposta uma classificação ambiental das doenças, baseada na ideia de Cairncross e Feachem, agrupando sete categorias, as doenças relacionadas com a água consumida ou esgotos (Heller, 1997). No tecer da classificação ambiental das infecções advindas do consumo da água, origina-se a compreensão dos mecanismos de transmissão que se agrupam em quatro categorias: de transmissão, sendo elas de origem hídrica, relacionada com a higiene, baseada na água e por vetores (Quadro 1) (Heller, 1997).

Nesse sentido, o modelo de classificação ambiental das doenças passou a “antecipar os efeitos das intervenções de saneamento na saúde pública e ainda inferir sobre as possíveis relações com o meio ambiente” (Soares; Bernardes; Cordeiro Netto, 2002). No Quadro 1 são apresentadas as principais doenças de veiculação hídrica.

Quadro 1 - Classificação ambiental das doenças relacionadas com água

Categoria	Infecção	Estratégia de controle
Feco-oral, transmissão hídrica ou relacionada com a higiene.	Diarreias e disenterias Febres entéricas, Poliomielite Hepatite A Ascaridíase Tricuríase	Melhora da quantidade, disponibilidade; tratamento da água e educação sanitária.
Doenças não feco-oral relacionadas com a higiene	infecções da pele, dos olhos, transmitidas por pulgas	Melhora da quantidade, disponibilidade; e educação sanitária.
Baseada na água por penetração na pele e pela ingestão	Leptospirose Esquistossomose Difilobotríase outras infecções por helmintos	Diminuição do contato com águas contaminadas, melhora nas instalações hidráulicas, Educação sanitária.
Transmissão por inseto vetor	Doença do sono Filariose Malária Arboviroses (Febre-amarela, dengue, leishmaniose) Identificação e eliminação de locais de procriação,	Controle biológico, Melhoria da drenagem pluvial, Educação sanitária.

Fonte: Adaptado de Heller (1997) e Chaves (2018).

Portanto, o quadro apresenta algumas estratégias, infalíveis para a preservação da água, bem como da saúde humana, contudo, para ocorrer em países ainda em desenvolvimento, uma série de estruturação de saneamento básico deve ser implementada. Em voga, a Agenda de 2030 preza pelo alcance do objetivo de número 6 predispondo o direito a todos do acesso à água potável e saneamento (ONU, 2020).

Consoante a água no planeta Terra, os aspectos quali/quantitativos são indicados por parâmetros internacionais, por ações regulamentadoras da ONU, OMS, bem como de poderes públicos locais. Sendo assim, se faz pertinente abordar os aspectos quali/quantitativos da água no Brasil, percorrendo sobre os aspectos químicos e biológicos preconizados pelo Ministério da Saúde do país.

2.2 Água no Brasil: aspectos quali/quantitativos

O território nacional do Brasil é amplo e tem uma posição privilegiada em relação ao uso dos recursos naturais, incluindo os recursos hídricos, tendo cerca de 14% das águas doces do planeta (Bicudo; Tundisi; Scheuenstuhl, 2016). É um país privilegiado em água, mas a distribuição é desigual no território e no ano, bem como

a demanda por sua utilização e a infraestrutura hídrica adequada para o seu aproveitamento e conservação. Cerca de 80% da sua disponibilidade hídrica está concentrada na Região Hidrográfica Amazônica, onde há menor contingente populacional e poucos valores de demandas consultivas. Enquanto isso, a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste, a região mais populosa do país, possui apenas cerca de 1,2% da disponibilidade hídrica disponível no país (ANA, 2017; Júnior; Pinheiro; Coelho, 2023).

As regiões hidrográficas são então cobertas por bacias hidrográficas que, de acordo com Brum *et al.* (2020), são compreendidas como uma região de captação natural de águas de precipitações que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, definido como exultório. Ela é constituída basicamente de um rio principal e seus afluentes, ou seja, de um conjunto de superfícies e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que se comunicam até resultar um leito único no exultório.

A bacia hidrográfica é considerada uma unidade essencial para a gestão dos recursos hídricos de uma região. As discussões sobre bacia hidrográfica no campo da gestão de recursos hídricos, iniciam-se pelo caráter integrador, conforme estudos realizados por Guerra e Cunha (1995) as bacias hidrográficas são apontadas como unidades de gestão das diretrizes naturais e sociais, mediante essa visão, é admissível acompanhar as ações antrópicas e o retorno do meio ambiente. Ainda de acordo com esses autores, em nações mais desenvolvidas, a bacia hidrográfica também tem sido utilizada como unidade de planejamento e gerenciamento, compatibilizando os diversos usos e interesses pela água, de modo a garantir sua qualidade e quantidade.

De acordo com Costa (2020) as bacias hidrográficas são apresentadas como unidades físicas de avaliação, caracterização e reconhecimento, com objetivo de favorecer a aproximação e abordagem sobre os recursos hídricos, considerando que o desempenho/condução de uma bacia hidrográfica com o passar do tempo ocorre por dois principais fatores, sendo eles, de ordem natural, responsáveis pela pré-disposição do meio à degradação ambiental, e antrópicos, onde as atividades humanas interferem de forma direta ou indireta na sistematização da bacia.

As bacias hidrográficas pertencentes ao território brasileiro se enquadram e se dividem conforme a Divisão Hidrográfica Nacional, instituída pela Resolução n.º 32,

1997), o qual abrange todo o território nacional e apresenta caráter estratégico (ANA, 2017).

Além disso, a PNRH pretende assegurar à atual e às futuras gerações a quantidade necessária e a qualidade adequada de água, promovendo dessa forma a utilização racional e integrada deste recurso, incluindo o transporte aquaviário, visando o desenvolvimento sustentável. Ainda, também objetiva efetivar a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais e incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais (Brasil, 1997).

Em seu artigo 1º, a lei reconhece que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e um bem de domínio público. Decorrente dessa limitação, em caso de escassez de água no país, seu uso deve ser preferencialmente destinado ao consumo humano e animal. Ainda conceitua a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, bem como a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

A fim de atingir esses objetivos a PNRH traz em seu artigo 5º, seis instrumentos: i) os Planos de Recursos Hídricos; ii) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; iii) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; iv) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; v) a compensação a municípios; vi) e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Logo, a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) foi responsável por: coordenar a gestão integrada das águas; deliberar na esfera administrativa os conflitos relacionados com os recursos hídricos; implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; e promover a cobrança desses recursos pelo uso.

Para o Ministério do Meio Ambiente e a Secretária de Recursos Hídricos (2006), a descentralização se dá pela criação de um sistema nacional que integra a União e os estados e a participação por implantar o comitê de bacias, que envolve os poderes públicos nas três instâncias, os usuários da água e a sociedade civil. Ainda conforme os mesmos autores, essa integração se refere à incorporação da gestão de tais

recursos junto à gestão ambiental, à do uso do solo e ainda, de sistemas estuarinos e zonas costeiras.

Conforme destaca Fim (2018) são pertinentes os motivos pelos quais se justifica o interesse em monitorar e a qualidade da água em bacias hidrográficas. Dentre elas, a identificação de padrões de qualidade da água, a determinação de fontes de poluentes, a avaliação da eficiência de programas de recuperação da qualidade da água em rios e o acompanhamento dos níveis de poluentes em um determinado corpo hídrico.

A análise da qualidade da água no país para consumo humano objetiva proporcionar maior segurança e tranquilidade à rotina da agricultura, das indústrias alimentícias, farmacêuticas e químicas, dos hospitais, das empresas de saneamento e outras atividades que utilizam a água rotineiramente como insumo para os produtos e serviços (Guevara *et al.*, 2019).

Para tanto, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Ministério da Saúde estipulam os parâmetros que a água potável deve ter. Esses órgãos realizam o monitoramento e controle da água através da análise de qualidade, captando possíveis contaminações e a presença de microrganismos, conquanto realiza-se a avaliação das características físico-químicas para a acurácia da potabilidade para o consumo direto (Fim, 2018; Guevara *et al.*, 2019; Nunes; Silva, 2020).

Contudo, as competências da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, conforme a o artigo 6º Portaria GM/MS n.º 888/2021 Cap. III Sessão I, tem obrigatoriedade em seu âmbito administrativo, além de outras que sejam pactuadas pelas Comissões Inter gestores de:

- I - promover a formação em vigilância da qualidade da água para consumo humano para os profissionais de saúde do SUS;
- II - estabelecer mecanismos de acompanhamento da inserção dos dados no Sistema de Informação da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua);
- III - analisar as informações do Sisagua na perspectiva de gestão de riscos e da segurança da água para consumo humano;
- IV - monitorar os indicadores pactuados para avaliação das ações e serviços de vigilância da qualidade da água para consumo humano;
- V - informar à população, de forma clara e acessível, sobre a qualidade da água para consumo humano e os riscos à saúde associados, de acordo com o disposto no Decreto nº 5.440, de 4 de maio de 2005, ou em instrumento legal que venha substituí-lo;
- VI - realizar análise de situação de saúde relacionada ao abastecimento de água para consumo humano; e

VII - promover ações em articulação com órgãos públicos que tenham relação com o abastecimento de água para consumo humano, tais como órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e entidades de regulação de serviços de saneamento básico.

Conforme a legislação, a avaliação da qualidade da água está relacionada ao uso para o qual é utilizada, estabelecida por meio da resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2005 e suas alterações nas resoluções 410 de 2009 e 430 de 2011.

O órgão é responsável por decidir sobre o Meio Ambiente. Eles definem os tipos de água e como eles devem ser enquadrados. Eles também definem como jogar efluentes. Substancialmente, a resolução 357/2005 propõe uma classificação das águas doces em cinco classes: especial, 1, 2, 3 e 4.

Oliveira Junior (2020) comenta que, destas especiais, somente a 4 não pode ser usada para abastecer ou assegurar qualquer outro tipo de uso humano, nem para a maioria dos seres vivos, consoante à sua baixa qualidade, cujos custos de tratamento dificultam o seu aproveitamento. As outras diferem entre si pelo tipo de tratamento a ser utilizado para desinfecção, que pode ser simplificado, convencional ou avançado, antes de ser distribuído à população. A classificação de um corpo hídrico pretende assegurar que as águas tenham qualidade compatível com os usos a que são destinadas, assegurando o direito à utilização adequada dos recursos hídricos.

A Resolução do CONAMA nº 357/05 dispõe, no capítulo II, acerca da classificação dos corpos de água; destacando na seção I, artigo 4º, a classificação das águas doces conforme descrito no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação das águas doces

Especial	Para as águas destinadas ao abastecimento de consumo humano, passando pela desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e preservação dos ambientes aquáticos das unidades de conservação de proteção integral.
Tipo I	São as águas que podem ser destinadas ao abastecimento e consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como esqui aquático, natação, mergulho e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas. No consumo pode ser em casos de irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo.
Tipo II	Para águas destinadas ao abastecimento e consumo humano, somente após tratamento convencional; servindo à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário. Serve para a irrigação das hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa ter contato direto; à aquicultura; e à atividade de pesca.

Tipo III	Águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.
Tipo IV	Águas destinadas à navegação; e à harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado da Resolução do CONAMA n° 357/05.

Consoante à classificação, Oliveira Junior (2020) realizou uma adaptação ilustrativa com os ditames da ANA e da Resolução do CONAMA n° 357/05, seguindo as possibilidades do uso da água para consumo humano, conforme a figura 2.

Figura 2 – Classificação das águas doces conforme a resolução CONAMA 357/2005 e ANA

USOS DAS ÁGUAS DOCES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Fonte: Oliveira Junior (2020, p. 17).

A ANA (2019) ainda define que o monitoramento da qualidade das águas naturais envolve um conjunto de procedimentos que visam analisar as mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas da água, causadas por diversas atividades humanas e eventos naturais.

Para acompanhar a qualidade da água e sua potabilidade, é então realizada a coleta de informações e amostras em lugares específicos, com uma certa frequência de tempo, para a obtenção das informações que ajudem a entender como ela está no período atual. Na Tabela 1 são apresentados os dados dos principais parâmetros físicos da qualidade da água:

Tabela 1 – Valor referência dos parâmetros físicos

Parâmetros físicos	Valor de referência	Característica
Cor	15	Avaliação da coloração da água, que pode ser afetada pelas substâncias dissolvidas no líquido.
Turbidez	5	Mensuração do nível de transparência da água, relaciona-se com a presença de partículas em suspensão.

Fonte: Adaptado de Brasil (2021).

Quanto aos parâmetros químicos, a GM/MS n.º 888/2021 atualiza os parâmetros conforme mencionados na Tabela 2, considerando os seus valores de referência e características:

Tabela 2 – Valor de referência dos parâmetros químicos

Parâmetros químicos	Valor de referência (mg/l)	Característica
Fosfato	0,025	Pode ter origem natural, resultando da decomposição da matéria biológica e lixiviação de minerais e ter origem antropogênicas, resultando de escorrências de terras agrícolas fertilizadas e de falhas no tratamento de águas residuais.
Nitrito	10	Pode ser encontrado na água como produto da decomposição biológica, devido à ação de bactérias ou outros microorganismos sobre o nitrogênio amoniacal, ou ser provenientes de ativos inibidores de corrosão em instalações industriais.
Nitrato	1	Composto químico que pode ser encontrado em águas subterrâneas e aquáticas, e é comumente utilizado como fertilizante na agricultura.
Amônia	1.2	Em baixos pH e temperatura, a amônia se combina com a água para produzir um íon amônio (NH ₄ ⁺) e um íon hidróxido (OH ⁻). O íon amônio não é tóxico e não causa problemas para os organismos, enquanto a forma não ionizada tem efeito tóxico.
Cloro	5	Indica a quantidade de cloro adicionado no processo de desinfecção da água, que está presente na rede de distribuição.
pH	6 - 9, 5	Significa potencial hidrogeniônico e determina qual é a concentração de íons H ⁺ em uma solução. Isto é o que indica se a água está ácida (entre 0 e 7), neutra (pH = 7,0) ou alcalina (entre 7 e 14);

Fonte: Junior (2020) e Brasil (2021).

Ainda consoante à qualidade da água, a GM/MS n.º 888/2021 disponibiliza os dados analisados consoante aos parâmetros biológicos conforme apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Valor de referência quanto aos parâmetros biológicos

Parâmetros biológicos	Valor referência	Característica
Coliformes totais	4.000/100	Bactérias encontradas na natureza e no intestino de animais endotérmicos. Sua presença na água não é indício imediato de risco à saúde, porém indica uma contaminação.
<i>Escherichia coli</i>	Ausência em cada 100 ml da amostra	Encontrados exclusivamente no intestino do homem e de outros animais endotérmicos, logo, sua presença confirma a contaminação por fezes e indica provável presença de microrganismos patogênicos.

Fonte: Adaptado de Junior (2020) e Brasil (2021).

Conforme o programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) (Brasil, 2018), elaborado e implementado pelo Ministério da Saúde, é necessário seguir todos os protocolos de tratamento de água conforme estimado pela Resolução 64/292 (ONU, 2010).

A Assembleia Geral da ONU (2010) reconheceu a água potável e o saneamento como Direito Humano essencial para o pleno gozo da vida e de todos os outros direitos humanos, proclamando o dia 22 de março como o Dia Mundial da Água, em prol da sensibilização populacional e dos gestores sobre a importância da água como recurso essencial para a humanidade, precisando ser preservado para a garantia da qualidade de vida.

2.3 Água na região Nordeste do Brasil

A divisão das regiões brasileiras foi realizada na década de 1970 e, posteriormente, passou por transformações pontuais como: a criação do estado de Tocantins, cuja faixa territorial se agregava ao estado de Goiás, localizado no Centro-Oeste, e a divisão do Mato Grosso, originando o Mato Grosso do Sul (IBGE, 2024).

Pochmann *et al.* (2023) destacam que a divisão regional do Brasil, no século XX, teve fortes influências na política diplomática, frente aos acordos que favoreceram

mais a produção e exportação de *commodities* do que a produção interna de insumos e produtos industriais. A produção industrial diminuiu mais nas áreas litorâneas do país, o que não foi ruim para o interior. O sertão brasileiro foi afetado positivamente pela abertura comercial promovida pela globalização. Considerando a aceitação do modelo econômico primário-exportador, contudo, o interior do país, especialmente as áreas de grande concentração na agricultura e mineração, é particularmente importante. A divisão regional conforme o IBGE é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Regiões do Brasil



Fonte: Brasil-Divisão regional IBGE (2018).

Dentre as regiões existentes, o Nordeste brasileiro é a região que mais sofre com a falta de água, uma vez que abriga predominantemente parte do clima mais seco do país (Nunes; Silva, 2020; Sales *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2020; Tavares; Arruda; Silva, 2019). Ela é constituída por nove estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, apresentada na figura 4:

Figura 4 – Região Nordeste do Brasil

Fonte: IBGE (2024).

A divisão da água no país é desigual, uma vez que 70% dos recursos hídricos estão na Amazônia, sendo esta a região com menos de 7% da população nacional, ou seja, há uma robusta quantidade de água para poucos habitantes. 15% da água está localizada na região Centro-Oeste, 6% no Sul e no Sudeste, ficando apenas 3% no Nordeste, representando aproximadamente 2/3 destes recursos localizados na bacia do rio São Francisco (ANA, 2017).

Portanto, a região sofre com a escassez hídrica na zona semiárida do Nordeste brasileiro. Mediante ao fato, o clima é seco, com temperaturas elevadas e fatalmente as chuvas são de características mais amenas, se concentrando em um pequeno

período anual (Nunes; Silva, 2020) tendo um alto número populacional se comparado com a proporção de água.

A região possui precipitação média anual igual ou inferior ao nível hídrico de 800 milímetros em meio a temperaturas médias anuais elevadas, se mantendo ou se tornando superior a 25° C (Lucena *et al.*, 2018). Se tratando de tamanho territorial, o semiárido do país abrange cerca de 900.000 km², com uma porção nuclear em torno de 500.000 km² e a pluviometria anual tem uma marca inferior a 600 mm (LUCENA *et al.*, 2018; CODEVASF, 2022).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2024) destaca que a magnitude das perdas de água ocorre de grandes superfícies de água, seja por rios e reservatórios, até mesmo pela transpiração das plantas, tornando maior que a precipitação pluvial, resultando no drástico déficit hídrico. As mensurações realizadas pela instituição (EMBRAPA, 2024) corroboram que a precipitação média anual é de 750 mm, e muitas vezes não ultrapassa a marca de 400 mm em algumas áreas, enquanto a evapotranspiração potencial média pode atingir 2500 mm por ano.

A escassez da água é então compreendida pela falta de recursos de água doce para atender à demanda padrão de água. Tal escassez de água pode ser causada por secas, falta de chuvas ou poluição, a qual foi listada em 2019 como um dos maiores riscos globais em termos de impacto potencial na próxima década (Godoy *et al.*, 2023).

Com efeito, ela se manifesta pela satisfação parcial ou até mesmo inexistente da demanda expressa, acarretando uma competição econômica pela quantidade ou qualidade da água, com atos de disputas entre seus usuários, uma vez que pode ser evidenciada em um nível de esgotamento irreversível das águas subterrâneas e impactos negativos sobre o meio ambiente (Lopes; Pereira, 2023).

Santos (2021) considera que a escassez hídrica é desproporcional à quantidade de água potável ensejada pela população, uma vez que é inferior ao consumo natural pelas pessoas, ou seja, ela se relaciona com o não atendimento das demandas energética ou alimentícia para uma região.

Mesmo a região possuindo uma beleza natural atrativa de turistas de todo o mundo, seus moradores vivem uma triste realidade em relação ao abastecimento de água. Se caracterizando com a menor quantidade de recursos hídricos do Brasil, tendo uma alta densidade demográfica, dificultando o abastecimento da água (Soldara, 2022).

A câmara dos deputados (2018) debate a necessidade de realizar políticas públicas educativas, uma vez que as causas das crises de falta de água não se resumem à falta irregular de chuvas. Pois, são o resultado de condições multifatoriais, incluindo as anomalias meteorológicas, contudo, envolvem, uma má gestão dos recursos hídricos, ausência de infraestrutura de abastecimento para o acompanhamento do aumento do crescimento da demanda, e educar principalmente a população para o consumo racional de água, motivando diretamente a redução de desperdícios, bem como destacando e implementando o uso de fontes alternativas aos reservatórios e controle de problemas ambientais, principalmente o desmatamento e a poluição.

Consoante à irregularidade das chuvas e anomalias meteorológicas, o semiárido predominante nas regiões com escassez hídrica ocupa uma área de 969.589 km² compondo:

[...] os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, a maior parte da Paraíba e Pernambuco, Sudeste do Piauí, Oeste de Alagoas e Sergipe, região central da Bahia e uma faixa que se estende em Minas Gerais, seguindo o Rio São Francisco, juntamente com um enclave no vale seco da região média do rio Jequitinhonha (Correia *et al.*, 2011, p. 21).

A ocorrência dessas secas anuais e plurianuais no semiárido brasileiro conforme supracitado, é um dos principais problemas que afetam a biodiversidade e a qualidade de vida da população local, uma vez que as estiagens que se abateram sobre este espaço têm contribuído para a diminuição das reservas de água superficiais e subterrâneas, comprometendo o abastecimento hídrico de diversas cidades e comunidades rurais. O Polígono das Secas se caracteriza com tal irregularidade, estando demarcado pelos estados semiáridos, portanto, é melhor discutido na próxima sessão do estudo.

2.3.1 Polígono das secas

O Polígono das Secas é uma criação do governo brasileiro, com o marco legal em 1946, sendo oficialmente instituído em 1968, por meio do Decreto Lei 63.778 (Brasil, 1968). A legislação concerne na tentativa da adequação de medidas pertinentes às estratégias para a diminuição dos danos regionais ocasionados pelo regime pluviométrico, caracterizado pelo baixo volume de chuvas, com empenho, o

Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) é pautado por políticas públicas com agendas voltadas aos anseios populacionais e ambientais da região.

Nesse íterim, o Polígono das Secas é fundamento nos amparos legais porque a região Nordeste se enquadra em uma região de risco, sujeita a repetidas crises de prolongamento das estiagens. Essa situação sensibiliza que os poderes públicos junto à Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), tomem providências do setor público para evitar ou diminuir os múltiplos impactos severos ambientais da região, que consequentemente possam causar agravos diretos e indiretos econômicos e sociais, dos quais, a aceleração do processo migratório das famílias penalizadas pela seca (Magalhães; Engle; De Nys, 2016).

Aragão (1981) pontua que a frequente instabilidade climática é o que mais dificulta a elaboração de um planejamento agrícola racional, uma vez que o setor agrícola é interferido diretamente pelos efeitos das estiagens. Corroborando, a CODEVASF (2022) apontou dados climáticos do semiárido, assegurando que na sua porção central, pode chegar até 60 °C, sendo um indicador considerável para o déficit hídrico bem como para a agricultura da população residente, já que essas altas temperaturas acarretam a evaporação das águas de lagos e rios.

Frente a esse impasse, os produtores regionais vivem imbuídos de uma insegurança quanto à sua subsistência, imigrando para os centros urbanos para a busca de melhores oportunidades de progresso profissional e familiar. O autor ainda destaca que as principais características do Polígono da Seca estão:

- Imprevisão do início da estação chuvosa;
- Curta duração do período de precipitação;
- Extrema variação das precipitações de ano para ano e, inclusive, dentro da própria estação chuvosa;
- Precipitação pluviométrica diária com intensidade duas ou três vezes superior à das regiões temperadas que freqüentemente (*sic*) excedem à capacidade de infiltração dos solos;
- Elevada demanda evaporativa, como consequência (*sic*) da intensa radiação solar e elevadas temperaturas;
- Baixa capacidade de armazenamento d'água nos solos devido sua reduzida profundidade e presença de camadas endurecidas. (ARAGÃO, 1981, p. 37, grifos nossos).

De modo geral, pelas características supracitadas, infere-se que o Polígono das Secas é predominantemente assola as regiões com características de irregularidade das chuvas, contudo, com altas taxas de evapotranspiração potencial

(Bezerra *et al.*, 2010), chegando a 2.000 mm/ano, resultando em um balanço hídrico negativo na maior parte do ano (INSA, 2024).

Apesar da seca até aqui explanada é “[...] parte indissociável do Semiárido, também o é o fenômeno das monções torrenciais” (INSA, 2024), ocorrendo eventualmente em curtos períodos provocando as cheias para o reavivamento dos milhares de rios e lagos intermitentes, fazendo a devolução da pujança à vegetação em prol da recuperação dos reservatórios usuais na região.

Gomes e Zanella (2023) vislumbram que o clima semiárido é caracterizado pela:

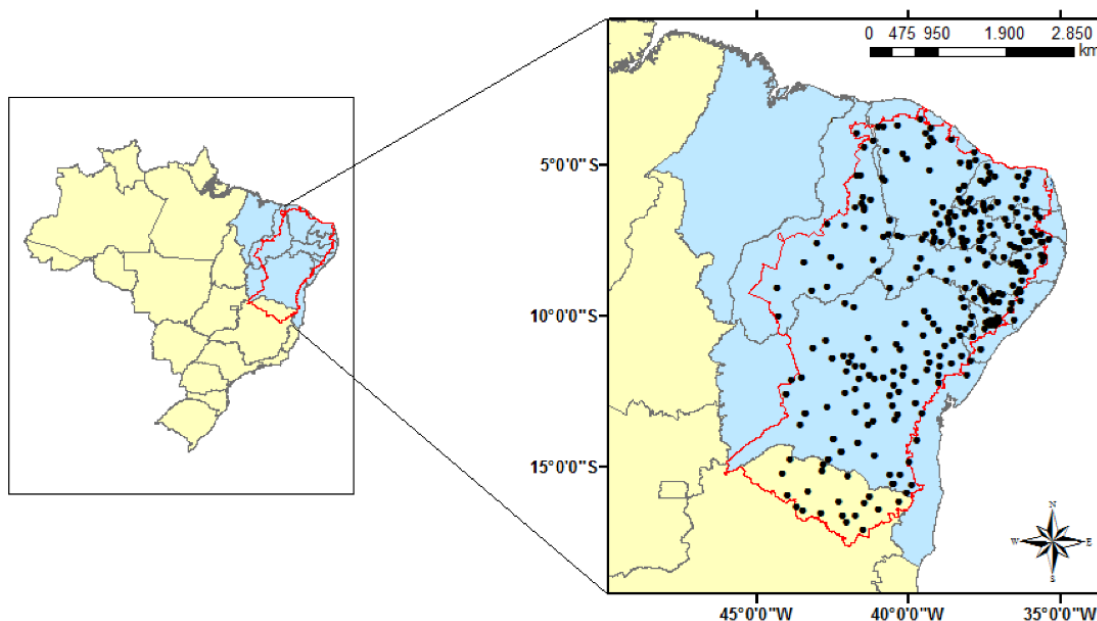
[...] insuficiência de precipitações com extrema irregularidade quanto à sua distribuição temporal, concentradas em uma estação chuvosa de três a cinco meses de duração, e uma variação em torno de 30% dos totais pluviométricos anuais, chegando a 50% em pontos mais críticos.

Os dados apresentados pela INSA (2024) destacam que uma das características marcantes do clima semiárido está na “dicotomia climática” conforme anteriormente comentado, tornando o semiárido brasileiro um dos mais habitáveis do mundo com uma região particularmente suscetível às mudanças climáticas. Tal população habita cerca de 27.870.241 pessoas, fazendo parte de 1.262 municípios. Sendo estes, considerados populosos, para a distribuição de água disponível.

Os estados que compõem o Polígono das Secas do Nordeste, são: i) Piauí com a Caatinga e Cerrado; ii) Ceará com o Inhamuns; iii) Rio Grande do Norte com o Seridó; iv) Paraíba com os Cariris Velhos; v) Pernambuco com o Sertão Central; vi) a Bahia com o Sertão do São Francisco; vii) Alagoas e viii) Sergipe (Tavares; Arruda; Silva, 2019). Ademais dos estados nordestinos, Minas Gerais é o nono estado a compor o polígono.

Conquanto, a articulação do Semiárido Brasileiro no Nordeste (ASA), aponta que a metade dos seus estados compõem acima de 85% de sua área como semiárida, estando o Ceará com a maioria de seu território (ASA, 2019). A figura 5 delimita o Polígono das Secas, e a sua distribuição espacial dos postos pluviométricos.

Figura 5 – Distribuição espacial dos postos pluviométricos no polígono das secas



Fonte: Melo e Sousa (2021, p. 54).

Contudo, na região da Paraíba, especificamente no Alto do Sertão da Paraíba, a falta dos recursos hídricos castiga cerca de 192 municípios, que no ano de 2021 declararam em emergência por Estiagem, após seus mananciais ficarem colapsados (Governo da Paraíba, 2021).

A Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente (SEIRHMA), por meio da Diretoria de Recursos Minerais e Hidrogeologia (DRMH), precisou realizar medidas emergenciais entre os anos de 2019 a 2021, com perfurações de 625 poços, 236 testes de vazão e 107 instalações para a distribuição de água para a população (Governo da Paraíba, 2021).

Consoante à preocupação dos poderes públicos, o estado da Paraíba, possui um clima distinguido pela alta incidência de raios solares ao estar em uma proximidade com a Linha do Equador, com um maior distanciamento do oceano, sendo um maior complicador para a escassez hídrica. Na região da Borborema e em parte do Sertão, o clima é semiárido, possuindo regiões geográficas intermediárias e imediatas, correspondendo ao Sertão Paraibano, parcialmente às regiões geográficas intermediárias de Patos e Sousa-Cajazeiras (Tavares *et al.*, 2019).

2.4 A gestão dos recursos hídricos no Brasil caminhos e descaminhos

Mesmo o Brasil sendo um dos maiores países em abundância de água do planeta, conforme o presente estudo, observa-se a discrepância no que tange à escassez hídrica na região nordestina, se comparado às outras regiões. Assim, para a resolução ou amenização desses problemas da falta de água ou falta de sistemas públicos de abastecimento de água, existem soluções alternativas, individuais ou coletivas, que podem ser encontradas em áreas urbanas ou rurais, sob a gestão pública ou privada (Hirle *et al.*, 2018).

Nesse ensejo, Nunes e Silva (2020) destacam a importância do gerenciamento dos recursos disponíveis, como a água da chuva, e adverte sobre a irrisória utilização de técnicas que possibilitem o aproveitamento dos recursos da melhor maneira possível, uma vez que poderiam ser mais bem utilizados já que são fatores essenciais para a mudança do quadro atual nordestino.

Desde o tempo do Brasil Império, as leis brasileiras já tratavam da água. A Lei n.º 1, de 1/10/1828, tinha diretrizes ambientais e cuidava da saúde e da qualidade de vida da população. A lei considerava aspectos ambientais e atribuía à polícia a responsabilidade de zelar por poços, tanques, fontes, aquedutos e chafarizes.

Substancialmente, se faz relevante a utilização da água da chuva em prol da melhor qualidade de vida humana e ambiental. Nesse ínterim, a gestão de recursos hídricos pode ser entendida como o processo cujo objetivo é gerenciar o uso racional dos recursos hídricos de forma sustentável, de modo a controlar seu aproveitamento sem prejudicar o meio ambiente e o bem-estar social, além de promover a conservação do recurso (Veloso; Mendes, 2013).

Nessa mesma linha de gerenciamento de água para todos, em um momento atual, o pensamento ainda se mantém consoante ao objetivo de desenvolvimento sustentável de nº 6 (água potável e saneamento - para garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos) da agenda de 2030 buscando “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos” (ODS, 2024).

Para tanto, a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva (ABCMAC) sensibiliza sobre a importância de incluir a captação de águas de chuva nos planos de desenvolvimento de todas as agências governamentais, como parte de suas estratégias de manejo integrado dos recursos hídricos.

O tema é então debatido desde o ano de 1937, pelo Decreto n.º 24.643, de 10 de julho de 1934, do Código de Águas, que estabeleceu regras sobre o uso da água. O texto já regulamentava, o conceito de águas pluviais e o direito de uso, atribuindo ao proprietário do prédio onde elas caírem diretamente sua propriedade. Em seu artigo 118, é possível notar, superficialmente, a construção de reservatórios para o aproveitamento da água da chuva em áreas públicas.

A lei 9.433 de 1997 criou uma política para proteger os recursos hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Complementando, a Lei das Águas fornece instrumentos para melhorar a gestão do recurso. Há ainda a lei nº 11445/2007, conhecida como lei do Saneamento Básico, regulamentada pelo Senado Federal (2010) o Decreto Regulamentador nº 7217/2010, o uso da água da chuva para abastecimento nas casas, utilizando a água da chuva, caso seja autorizado pela autoridade competente.

Algumas regras importantes para usar a água da chuva em áreas urbanas são preconizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como a ABNT NBR 15527/2007, que diz como usar a água da chuva para fins não poluidores e a ABNT NBR 10844/1989, que define regras para projetos de drenagem de águas pluviais que garantam que as instalações sejam funcionais, seguras, limpas, confortáveis e econômicas.

Consoante às normativas, a água da chuva nos centros urbanos pode ser usada para coisas que não precisam de água potável, como lavar bacias sanitárias, regar jardins e limpar pisos, equipamentos e carros (ABNT, 2007; Veloso; Mendes, 2013). Em suma, a necessidade de tratamento varia de acordo com a qualidade da água de chuva armazenada e o propósito para o qual é empregada, com efeito ela também pode até ser utilizada para fins potáveis em áreas onde se justifica essa necessidade (Braga, 2024).

Contudo, o Ministério da Saúde é encarregado de estabelecer os parâmetros de potabilidade da água, consoante os ditames legais da Portaria de Consolidação No 5/2017. Este documento diz como a água deve ser potável e como controlar a qualidade da água para uso humano indo de encontro com o que preconizado nas NBR 10.844 e NBR 15.527, que falam sobre como aproveitar a água de chuva em áreas urbanas para fins não poluidores.

A Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, no ano de 2021 passa a dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da

qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, migrando para a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021.

Essa modificação também foi reflexo da modificação da norma NBR 15.527 submetida a uma revisão publicada em abril de 2019, após 12 anos de sua criação, intitulada como ABNT NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos. A essência da norma foi mantida, que diz respeito às águas de chuva coletadas a partir de coberturas de construções, usadas para fins não potáveis, fato reforçado no título, e nas definições apresentadas para “água de chuva” bem como para “aproveitamento de água”.

Hirle *et al.* (2018) sugeriram no XXV Simpósio brasileiro de recursos hídricos, que o uso de água das chuvas pode ser armazenado para usos não potáveis, pois, não são categorizados pelas normativas de consumo de água, conforme a Portaria nº 888/21 do Ministério da Saúde. Todavia, aproveitar a água de chuva economiza a água para consumo, servindo para lavar pisos e recipientes, irrigar o jardim, tendo uma característica sustentável de ação benéfica economicamente.

Consoante à norma, a água de chuva é definida como a resultante das precipitações atmosféricas e coletada somente de telhados e coberturas onde não há tráfego de pessoas, veículos ou animais, ou seja, onde não há atividade humana frequente. Isso garante a obtenção de água com qualidade superior às obtidas em pisos a partir das chamadas águas pluviais (ABNT, 2019).

Na versão atualizada da NBR 15527 (ABNT, 2019), o telhado ou outra cobertura é parte do sistema de aproveitamento da água da chuva e é chamado de área de captação. Dessa forma, a área de captação deve ser tratada com a mesma atenção e manutenção que qualquer outra parte do sistema.

Recentemente a Câmara dos Deputados aprovou a Nova lei 14.546/23, que determina reaproveitamento de águas usadas e de chuva em novas edificações, a lei também decreta a obrigatoriedade de as empresas responsáveis pelo serviço público de água e esgoto a corrigir falhas para prevenção de vazamentos e perdas, sendo obrigados a fiscalizar a rede para coibir ligações irregulares.

Contrapondo a questão da gestão da água enfrenta-se um novo embate no tecer da qualificação da água para o consumo humano, pois compreende-se algumas variáveis que orientam a água como potável e não potável (Brasil, 2016). Infere-se assim, que a água potável pode ser consumida e a não potável pode ser utilizada para uso externos. De modo geral a água potável apresenta as condições físicas, químicas,

microbiológicas e radioativas ideais para consumo humano, sem apresentar riscos significativos à saúde do nosso organismo. Essas condições são predeterminadas através de critérios estabelecidos pela legislação do Brasil.

Devido ao fato, a água da chuva não é considerada potável em seu estado original, uma vez que pode conter partículas de poeira, fuligem, sulfato, amônio e nitrato, entre outras substâncias nocivas ao ser humano, portanto, mesmo que ela seja tratada, a norma ANBT 15527 ainda sim só a enquadra para fins não potáveis.

Embora em muitos lugares, a água de chuva apresenta uma boa qualidade devido ao tratamento, tornando-se a principal fonte de água para consumo, ela não atende ao padrão legal de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde. O exemplo excepcional do P1MC na região do semiárido brasileiro, não se enquadra no campo de aplicação da ABNT 15527, uma vez que pelo programa a água pode ser atribuída para fins de consumo.

Atualmente o presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, sancionou a Lei 14.546, de 2023, que estabelece medidas para evitar o desperdício e para aproveitar as águas de chuva e as chamadas águas cinzas, usadas em chuveiros, lavatórios de banheiro, tanques e máquinas de lavar roupa. Mas vetou o parágrafo que restringia a utilização das águas de chuva e das águas cinzas, que indicava que elas só poderiam ser destinadas "a atividades menos restritivas quanto à qualidade", isso porque segundo seu raciocínio, poderia inviabilizar a utilização de águas da chuva para o consumo no semiárido brasileiro e causaria insegurança hídrica para os habitantes da região.

O fato que preocupou o Governo Federal, se fez pela ampla utilização de cisternas para coleta de água da chuva e sua utilização para fins diversos, até mesmo como água potável. Visto que estigmatizar o uso da água da chuva não poderia ser benéfico para os nativos da região.

Isso porque conforme dinamicamente enfatiza Silva *et al.* (2020) no contexto da região semiárida do Brasil, o limiar entre qualidade e quantidade sempre foi, historicamente, um dilema enfrentado pelas populações, fatidicamente quando considerado que se trata do domínio semiárido mais populoso do planeta.

Nesse drástico cenário um dos descaminhos das gestões de água no país está na desigualdade de distribuição da água frente a uma rede de drenagem semiárida condizente a um sistema pobre do ponto de vista da descarga hídrica, evidenciada

por rios intermitentes, com fluxo contínuo apenas no período das precipitações (Silva *et al.*, 2023). As drenagens sazonais e efêmeras, fundamentais no abastecimento dos reservatórios e dos pequenos barramentos, bem como a utilização adequada da chuva garantem a manutenção da vida humana e animal nos períodos de longas estiagens, contudo, os poderes públicos pouco asseguram os meios tecnológicos para tal fim.

Nesse descompasso, Ribeiro e Oliveira (2019) e Silva (2020) possuem opiniões semelhantes ao alertarem que o descaminho da gestão dos recursos hídricos do país segue fervorosamente em conflitos que se assemelham ao modelo oligárquico de posse da terra distribuindo as tecnologias e recursos de abastecimento da água de forma heterogênea. Tendo em vista que, a água está sendo apreendida como recurso de valor essencialmente econômico, desconsiderado acima de tudo, o valor da vida e a necessidade emergente de conservação dos corpos hídricos.

As sociedades se apropriam dos mananciais e constroem seus descaminhos na medida em que negam às águas o fim ao qual se destinam, a saber, criar e manter a vida. Toda e qualquer perspectiva que se afaste dessa premissa inicial contribui para a consolidação dos descaminhos das águas. Nesses termos, busca-se enfatizar que o esvaziamento simbólico da água, no que tange à dimensão do sagrado e do comum, abre precedentes para a apropriação privada de um bem público e, como consequência, produz uma materialidade espacial de degradação e conflitos (Souza; Machado, 2018, p. 553).

O descaminho se faz tão presente, quando se reflete nas condições e custos de tratamento de águas da chuva ou de reservatórios que enfaticamente não demanda de métodos e custos tão altos, outrossim, são métodos mais baratos, principalmente se tratando da água para beber, sendo ainda mais simples, como fervura da água - prática pouco comum, filtragem com areia ou filtro doméstico, exposição da água ao sol e adição de cloro líquido à água. Visto que na região do Semiárido do Nordeste, as formas de tratar a água para beber são filtradas e cloradas, especialmente nas águas de chuva, guardadas em cisternas construídas (Brito; Amorim; Leite, 2007).

A água é desinfetada com cloro gasoso, líquido (hipoclorito de sódio) e sólido (hipoclorito de cálcio) sendo o biocida mais empregado na desinfecção da água. Escolher o produto certo depende de vários fatores, como: se é bom, se é barato, se precisa de muito reagente, se é fácil de usar e se é seguro. Após limpar com cloro,

ainda há cloro na água e outros produtos que podem ser usados (Brito; Amorim; Leite, 2007).

A OMS e a Portaria No. 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004, consideram que 0,5 mg/L de cloro livre residual na água, depois de 30 minutos, garante uma desinfecção satisfatória. Entretanto, a Organização Mundial de Saúde ressalta não haver nenhum efeito prejudicial à saúde se a concentração de cloro livre exceder 5 mg/L. Essa quantidade foi considerada um valor de referência e não como um valor a ser alcançado (OPAS, 1999; Brasil, 2004).

De acordo com a ABMAC (2006), considerando o rigor desta Portaria em relação à quantidade de variáveis requeridas para emitir o laudo de potabilidade, a complexidade das análises e a dificuldade em encontrar um laboratório habilitado, além dos custos elevados das análises, foram propostos indicadores mínimos para monitorar a qualidade da água no meio rural, incluindo turbidez, pH, cloro livre e coliformes, que devem ser discutidos com o Ministério da Saúde.

É urgente que novas medidas sejam pautadas para uma reestruturação desde a coleta da água, até o uso seja para fins de consumo ou reaproveitamento, e nesse sentido Heijnen (2012) destaca a necessidade de uma maior orientação para as pessoas que armazenem a água da chuva, pois no momento de captação, principalmente após períodos de tempestades, apresenta fortes indicadores fecais encontrados, na maioria das vezes os patógenos específicos, tais como *Salmonella*, *Campylobacter*, *Cryptosporidium* e *Giardia*. Entretanto, a ausência de contaminação por urina de seres humanos e animais indica que a variedade de agentes patogênicos localizados na água de chuva coletada é mais restrita do que a encontrada em águas superficiais contaminadas.

Heijnen (2012) afirma que além da preocupação com os coliformes fecais de animais, existem poluentes atmosféricos letais, como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, que, juntos, são as principais responsáveis pela chuva ácida antropogénica, sendo essa uma variável a se considerar para a avaliação da qualidade de água da chuva. Pois, além de provocar a chuva ácida, esta água pode ser perigosa para se beber, sobretudo em áreas com grande poluição, como áreas industriais. Sendo os poluentes atmosféricos antropogênicos diversos, como o dióxido de enxofre o dióxido de nitrogênio e vários hidrocarbonetos. Apesar de a maioria dos contaminantes graves estar restrita a áreas urbanas e industriais, os poluentes podem ser transportados a grandes distâncias antes de serem lavados na chuva. A

precipitação, contudo, é conhecida para limpar os poluentes do ar e, dessa forma, melhorar a qualidade da água.

Frente a essa demanda tecnológica para o tratamento dos recursos naturais existente nas regiões desprovidas de água potável, Souza e Machado (2018) são incisivos ao dizer que a gestão de recursos hídricos na região semiárida do país, acaba por cercear o acesso à água mesmo sendo direito de todos, minando assim as condições de vida, ou, de outro ângulo, afirmando uma relação de dependência entre a vida e a água, uma vez que a primeira depende da última. Conquanto, seria uma questão de decisão dos poderes públicos, já que em outras regiões do país há um vasto investimento de fins tecnológicos com outros fins, não seria a vida mais valiosa?

Nesse ínterim, compreende-se que o maior problema da região semiárida, não está somente no clima e na falta de recursos naturais, conquanto, está na falta de recursos e de uma gestão mais humana. Urge assim, que a gestão seja baseada na quebra paradigmática na detenção do poder, tendo assertividade na ampliação tecnológica que ampare o mínimo que o ser humano precisa para ter, uma vida digna, com água para se banhar e alimentar.

2.5 A política das cisternas de placas e seus impactos na região semiárida do Nordeste brasileiro e no estado da Paraíba

O Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais é realizado para o Programa Cisternas, financiado pelo antigo Ministério de Desenvolvimento Social (MDS) desde 2003 instituído pela Lei Nº 12.873/2013 e regulamentado pelo Decreto Nº 8.038/2013. O principal objetivo da iniciativa está na promoção do acesso à água para o consumo humano incluindo a produção de alimentos devido a implementação de tecnologias sociais simples e de baixo custo.

Tendo em vista que o público do programa compete a famílias rurais de baixa renda atingidas pela seca ou falta regular de água, dando ainda mais prioridade para povos e comunidades tradicionais. Nesse ínterim, algumas regras para ser beneficiado é que as famílias devem estar inscritas no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal. E a base estruturais das cisternas precisam seguir alguns padrões.

Quanto aos locais de uso das cisternas, eles podem ser i) familiar de água para consumo, instalada ao lado das casas e com capacidade de armazenar 16 mil litros de água potável; ii) escolar de água para consumo, instalada em escolas do meio rural e com capacidade de armazenar 52 mil litros de água potável e iii) de água para produção, com capacidade de 52 mil litros de água, de uso individual ou coletivo das famílias (Brasil, 2013).

Há também um marco importante na política do uso de cisternas quando a Fundação Banco do Brasil atuou na área de tecnologia social, apoiando o programa Água para Todos, criado pelo Decreto no 7.536, de julho de 2011, seu principal objetivo estava na universalização do acesso e uso da água nas áreas rurais, sendo estas totalmente voltadas para o consumo humano e produção agrícola para as pessoas menos favorecidas e de excluídas em comunidades difusas no semiárido, contudo, o programa enfatizou não somente a implantação de cisternas, como também de poços e barragens, dentre outras tecnologias (Brasil, 2011).

O semiárido brasileiro é a região prioritária do programa. Portanto, o programa é voltado à estruturação das famílias para promover a convivência com a escassez de chuva, característica do clima na região, utilizando principalmente a tecnologia de cisternas de placas, reservatórios que armazenam água de chuva para utilização nos oito meses de período mais crítico de estiagem na região.

Ribeiro e Oliveira (2019) por vez sugerem que a captação de água pluvial pode ser uma das soluções ao problema de escassez de água na região nordestina, permitindo que as pessoas convivam com a seca sem ficar sem água. Os autores destacam que o sistema SIG-CISTERNAS abrange muitas tecnologias para o armazenamento de água das chuvas, e apresentam distintos tipos, como: “cisterna de placas, a cisterna-calçadão, a cisterna-enxurrada, o barreiro de salvação, a barragem subterrânea, o barreiro-trincheira, o caxio, a barraginha, o tanque de pedra ou caldeirão e a captação de água in situ.” (Ribeiro; Oliveira, 2019, p. 356).

Há também programas de iniciativas, privadas, de ONGs e governamentais, em prol da utilização das águas das chuvas, como o:

O Programa 1 Milhão de Cisternas (P1MC) e o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2). De iniciativa de uma ONG do semiárido brasileiro – Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA), criada em 1999 – o Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: 1 Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), iniciado em 2001, busca o armazenamento das águas pluviais em cisternas, por meio do emprego de calhas nos telhados das

casas. Já o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido Brasileiro: acesso e manejo sustentáveis da Terra e das Águas por meio de Tecnologias Sociais (P1+2), criado em 2007, pretende assegurar à mesma população, o acesso à terra e à água para consumo familiar e dos animais e para produção de alimentos (Ribeiro; Oliveira, 2019, p. 357).

A ASA (2019), primou pela melhoria de vida das famílias do semiárido brasileiro, para garantir a água de qualidade para a população. Assim em meio ao P1MC foram construídas 628.355 cisternas com capacidade de 16 mil litros, cada. Posteriormente uma outra ação beneficiou diretamente as pessoas do campo semiáridos frente ao Programa P1+2. O projeto, iniciado em 2007, tem como objetivo aumentar o estoque de água das famílias durante o período chuvoso para uso durante a escassez e criou possibilidades de gerenciamento da água que estava armazenada. O P1+2, também incluiu o P1MC e, por meio de seus objetivos, gerou emprego, renda e a segurança alimentar das famílias beneficiadas (Nunes; Silva, 2020).

Os programas demonstraram a importância do uso das cisternas, para melhor aproveitamento da água da chuva e corroborando, Ribeiro e Oliveira (2019) comentam que a cisterna é uma estratégia simples, barata e adaptável a qualquer região, uma vez que a água vem das chuvas e é coletada em meio às calhas nos telhados das casas.

No programa P1MC após a eleição das famílias contempladas com a cisterna, o próximo passo foi providenciar o curso de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (GRH) abordando a importância da captação da água consoante ao manejo adequado em prol da melhoria das condições de vida das famílias; explanou-se o que era a Cidadania em meio a uma reflexão sobre as relações políticas entre a Sociedade Civil e o Estado, enfatizando os modelos de desenvolvimento implantados na região semiárida, bem como o aprendizado sobre a Convivência com o Semiárido, promovendo novas reflexões sobre as características naturais da região, carreando as possibilidades que influenciam nas práticas de convivência sustentável (Leal, 2015).

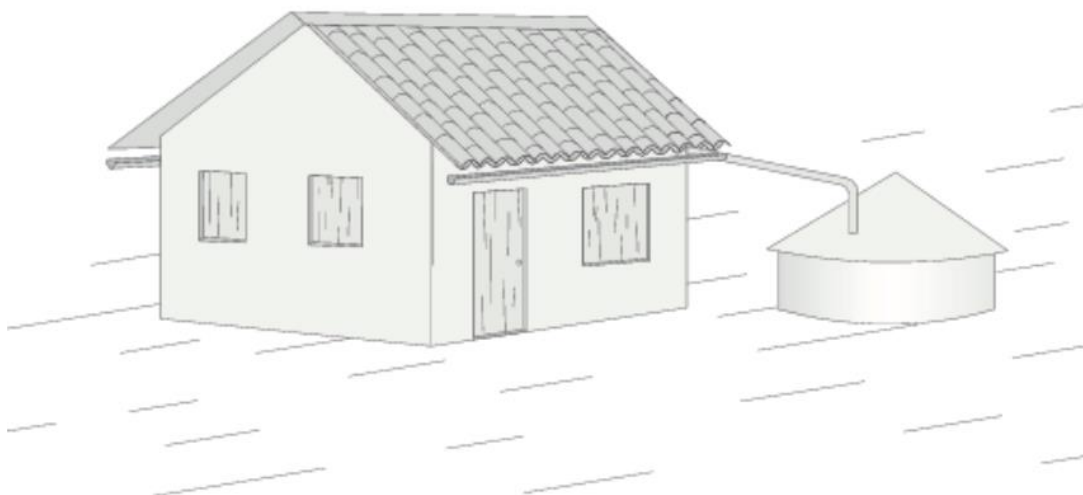
Posteriormente, houve a Capacitação das Comissões Municipais (CCM), para a produção adequada Capacitação de pedreiros em construção de cisternas domiciliares bem como ampliar a visão dos envolvidos, para estarem aptos a discutirem sobre os conteúdos centrais da proposta de convivência com o Semiárido,

dada a real importância da cisterna como elemento mobilizador das famílias rurais (Leal, 2014).

Tão logo a parte principal dada a última etapa estava na Construção de cisternas de placas de 16 mil litros. Contudo há também a cisterna de 52 mil litros, para um maior abastecimento sendo conhecida como cisterna-calçadão, provendo a água para produção de alimentos e dessedentação de pequenos animais (Leal, 2014). Na construção das cisternas, uma das estratégias estava na mobilização das famílias em meio a contribuição direta para a construção. Ajudando as pessoas a participarem do Programa e ajuda a organizar a comunidade. É comum vermos as famílias construindo cisternas juntas.

A estrutura é composta por placas de cimento pré-moldadas e construídas ao lado das residências por pessoas da comunidade que se capacitaram nos cursos de pedreiros/as oferecidos pelo P1MC. A cisterna tem formato cilíndrico, é coberta e semienterrada. O sistema funciona usando o telhado da casa para pegar água da chuva e depois levar para as calhas. Esta tecnologia é bastante simplificada, adequada à região semiárida e de fácil reprodução. A figura do modelo convencional.

Figura 6 – Desenho de uma cisterna de placa implementada na zona rural



Fonte: Porto *et al.* (2001 apud Campos, 2002, p. 135).

Esse tipo de coleta e armazenamento pela cisterna é utilizado pela EMBRAPA desde os anos de 1970 nos locais de clima semiárido, sendo uma das tecnologias mais empregadas pelas famílias no sertão nordestino (Ribeiro; Oliveira, 2019; Tugoz; Bertolini; Brandalise, 2017).

Apesar do modelo ser o ideal, devido à alta demanda, o programa P1MC entregou no ano de 2011 as cisternas de placa de 16 mil litros para 98.075 famílias, ou 26% das unidades, tão logo, foi distribuído as cisternas prontas à base de Polietileno, houve então elogios, contudo não fazia parte da essência do programa, já que a intenção estava na movimentação da economia local, visto que a mão de obra era escolhida preferencialmente na própria comunidade, o que barateava os custos e gerava oportunidades de emprego. Ademais, os pedreiros e familiares envolvidos são capacitados pelo próprio programa, gerando comprometimento com o equipamento instalado (Santana; Arsky, 2016) e a participação dos beneficiados é considerada estratégica para garantia da manutenção da cisterna ao longo do tempo (Santos, 2018).

Há também a cisterna-enxurrada, construída na terra, ficando apenas a cobertura de forma cônica acima da superfície. A água da chuva escoar pela terra e, antes de chegar à cisterna, passa por duas ou três pequenas caixas, uma após a outra. Essas caixas fazem parte de um sistema que filtra a areia que vem com a água, evitando assim, que ela chegue ao fundo da cisterna. Baseada no programa P1+2 ela é composta por um:

Reservatório escavado no subsolo, com paredes verticais estreitas e profundos. O barreiro trincheira de referência deve ser capaz de armazenar pelo menos 500 m³ de água, e deve possuir entre 3 e 5 metros de profundidade, de forma a reduzir a evaporação e manter a água acumulada por mais tempo. O barreiro trincheira de referência é marcado com 16 metros de comprimento, 5 metros de profundidade e 5 metros de altura. A partir de então, se marca a rampa com 8 metros de comprimento e 5 metros de largura, iniciando com 5 metros de profundidade até alcançar o nível. (Brasil, 2013, p. 9)

A água da cisterna-enxurrada apresentada na figura 7 é então retirada com uma bomba manual (Ribeiro; Oliveira, 2019).

Figura 7 - Cisterna-enxurrada



Fonte: Santos (2017, p. 90).

Essa modalidade envolve as tecnologias adotadas pelo Programa Uma Terra e Duas águas - P1+2, sendo executadas pela ACB são simples, também baratas e de domínio dos agricultores e agricultoras. Faz parte de uma das várias estratégias de captação de água e dos mais diversificados tipos de implementações de aproveitamento da água para o consumo humano na produção de alimentos (Ferreira *et al.*, 2016; Virgens *et al.*, 2013).

Atualmente, o P1+2 trabalha com sete tipos de cisternas, a saber: cisterna-calçadão, cisterna-enxurrada, barragem subterrânea, barreiro trincheira, barraginha, tanque de pedra e bomba d'água popular. Portanto, se faz pertinente abordar brevemente cada tipo de cisterna, uma vez que elas podem ser construídas conforme a condição e necessidade de cada família.

Silva (2018) em sua dissertação de mestrado mencionou a importância das Cisternas Calçadão na vida dos agricultores, semelhante à enxurrada, pois se enquadram no critério de garantia da Segurança Alimentar Nutricional (SAN), proporcionando ao agricultor uma maior produção de alimentos para sustento próprio ou até mesmo para o ganho de vida.

A autora destaca que esse tipo de cisterna, é um importante artigo de sobrevivência principalmente em anos com chuvas, mesmo que elas ocorram abaixo da média. Conforme a figura 8, o tamanho do calçadão garante o enchimento da cisterna, ao passo que também irriga os canteiros de hortaliças, as mudas, frutíferas,

mandalas, dispondo ainda de água para pequenos animais com as galinhas, pássaros e abelhas, contribuindo, diretamente, para a SAN das famílias (Silva, 2018).

Figura 8 - Cisterna calçadão para benefício de plantações



Fonte: Brasil (2016).

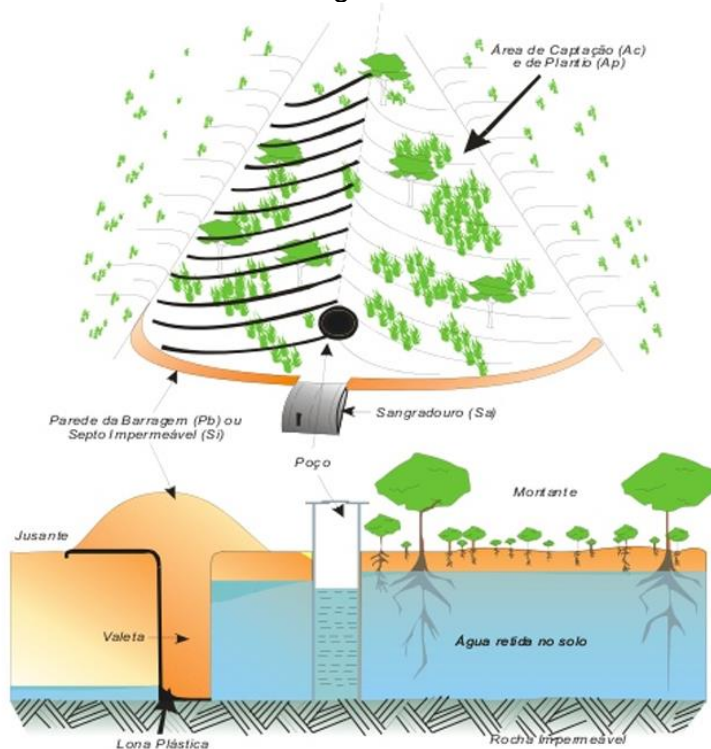
A técnica que envolve a cisterna de barragem subterrânea, também possibilita a sobrevivência da agricultura familiar. A partir do início da década de 1980, o estudo tem um grande interesse em demonstrar por experiências empíricas as mudanças significativas nos agroecossistemas familiares do semiárido, devido à função de manutenção da água no solo, permitindo, dessa forma, cultivos por um período maior de tempo (Ferreira *et al.*, 2016).

Um dos estudos apresentados pelos pesquisadores da época acima citada foi a “Barragem subterrânea I: construção e manejo”, os autores Brito *et al.* (1989) afirmaram positivamente que, a barragem subterrânea é uma forma de armazenar água da chuva no solo e ajudar a plantar a terra com mais facilidade, sendo essa uma estratégia para a sobrevivência das pessoas impossibilitadas de acesso à água na região semiárida do Nordeste.

Sua construção é feita em meio a escavação de uma vala no sentido transversal das descidas das águas até a rocha ou camada impermeável conforme ilustrado na figura 9. Assim, dentro da vala, possui um plástico de polietileno com espessura 200 micras que fica estendido por toda sua extensão, sendo a cisterna fechando com a terra que foi retirada na sua abertura. Na sua parede, é feito um sangradouro para a

eliminação excedente de água em casos das chuvas torrenciais. Com efeito, as opções de cultivos podem ser consoantes ao interesse de cada família ou agricultor. Contudo, é necessário que o proprietário faça a construção em áreas com solos com uma profundidade de 1,5 a 4,5 m, com declividade suave, entre 0,4 e 2,0%, para a formação das ombreiras, denominando as extremidades rasas, não salinos e textura arenosa a média (Melo *et al.*, 2011).

Figura 9 – Cisterna de barragem subterrânea

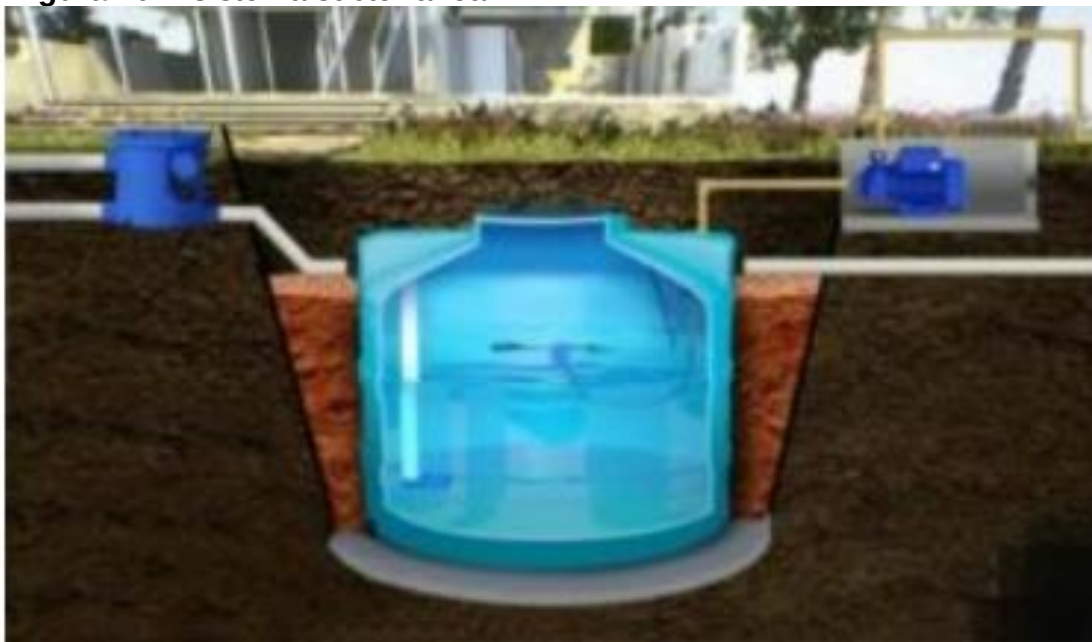


Fonte: Ferreira et al. (2011, p. 21).

Na política das cisternas há também a construção do barreiro trincheira frente ao Anexo da Instrução Operacional SESAN nº 10, de 06 de setembro de 2017, para a utilização dessa tecnologia no domicílio do beneficiário, antes de iniciada a obra, o proprietário da casa ou lote precisa confirmar a sua participação desde o início do processo de implantação, sendo este, responsável pela capacitação em gestão da água para a produção de alimentos.

Há a versão desse tipo de cisterna pelo sistema de bombeamento de água que podem ser feitos de concreto, plástico e fibra de vidro conforme a figura 10 de um planejamento sustentável.

Figura 10 – Cisterna subterrânea



Fonte: ARK sustentável (2023).

Assim como nos modelos anteriores, há todo o processo de eleição das famílias, tendo estas o dever de manter as regras de manutenção e gestão do recurso hídrico (Souza *et al.*, 2020). A família contemplada “recebe ainda uma bomba submersa, uma ovelha, um saco de milho, 50m de cabos PP para conexão com a rede elétrica e 50m de mangueira” (Junior; Silva, 2016, p. 60).

Contudo, as etapas de construção ocorrem pela, escolha do local que deve ser devidamente apropriada para regiões de subsolo cristalino. A instalação dessa tecnologia não é recomendada em áreas de sedimentos como calcário e arenito, pois a água armazenada em reservatórios superficiais gradualmente se infiltra e reduz significativamente a quantidade de água armazenada em pouco tempo (Junior; Silva, 2016).

Deve então, ser construído em um local de declividade moderada, quase invisível, e não deve ser instalado em locais próximos a rios ou riachos/córregos, pois sedimentos podem se acumular dentro do barreiro e, ao longo do tempo, podem prejudicar sua capacidade de armazenamento ou danificar suas paredes. Ademais, não se deve construir o barranco em terrenos com grande declividade, uma vez que ele seria rapidamente aterrado. É crucial, ainda, evitar que o terreno contenha material solto, como areia, terra arada ou remexida na área de captação (Programa cisternas, 2017).

Após a escolha do local é realizada a sondagem para a coleta de informações sobre as camadas de solo, sua profundidade em meio ao comportamento dos vazamentos, bem como, a sua impermeabilidade. A terceira etapa acontece pela marcação e escavação, a quarta etapa com a finalização apresenta a obra do Programa Cisternas:

Considerando o tamanho padrão do barreiro, de 5 x 16 metros, com afastamento lateral de 3 m para cada lado e afastamento frontal de 2 m para cada lado: $2 \times 11 = 22$ m e $2 \times 20 = 40$ m, o perímetro total é de 62 metros. A quantidade de arame farpado foi calculada considerando a necessidade de vedar o acesso de caprinos, de forma que a cerca deve ter no mínimo 8 fios. Dessa forma, com 62 metros de perímetro e 8 fios de arame, são necessários cerca de 500 metros de arame. A quantidade de mourões de eucalipto tratado foi calculada pelo perímetro e pela distância entre os mourões, de 2 metros entre eles, e com altura de 2,20 metros. Dessa forma, são necessários 31 mourões, totalizando cerca de 70 metros lineares de madeira roliça de eucalipto tratado. Para a construção da cerca foi projetado o seguinte material (Programa Cisternas, 2017, p. 13).

Na quinta etapa após finalizados os procedimentos da escavação e cercamento do barreiro, foi instalada a placa de identificação, conforme modelo padrão apresentado na figura 11.

Figura 11 - Barreiro –Trincheira



Fonte: Junior e Silva (2016, p. 60).

Além das cisternas até aqui citadas, há a também a barraginha, semelhante à barreiro-trincheira, porém em espaço menor com até 20 metros de diâmetro, conseguindo uma média de armazenamento de 300m cúbicos de água. Consiste na construção de mini açudes distribuídos para a retenção da água da enxurrada, evitando erosões, voçorocas (mega erosões) e assoreamentos. O sistema de Barraginhas auxilia na utilização da água das precipitações irregulares, consistindo

em um pequeno barramento construído sobre áreas sedimentares, com grande capacidade de infiltração, auxiliando na recarga de corpos hídricos subterrâneos (Barros; Ribeiro, 2008; Souza Neto, 2020). Esse é um tipo de cisterna para armazenamento temporário, apresentado na imagem 12.

Figura 12 - Barraginha



Fonte: EMBRAPA (2018).

Apesar de não servir para o consumo humano, como para beber diretamente, ela serve para regar plantações, bebedouro de animais, sendo muito aplicadas no estado da Paraíba, na Bacia Sedimentar do Vale do Rio do Peixe no Alto Sertão Paraibano, bem como em municípios que se encontram na província da Borborema (Souza Neto, 2020).

A cisterna tanque de pedra é muito utilizada na Paraíba captando uma quantidade para a condição mediana de chuva, que seria suficiente para o abastecimento de uma população com cerca de 270 pessoas (Almeida; Viriato; Sampaio, 2020; Queiroz *et al.*, 2022).

Conforme o mapeamento de Queiroz *et al.* (2022) para analisar vulnerabilidades municipais no estado do Ceará e identificar potenciais Tecnologias Sociais (TS) para redução da vulnerabilidade climática. Apontaram pelo índice Municipal de Alerta no período 2010 a 2020 que o Tanque de Pedra contou com 228.759 unidades, correspondendo 61% do total das unidades instaladas. Segundo os autores sua presença foi justificada pela facilidade de instalação, uma vez que

aproveita o desenho de fendas e bacias naturais presentes nos afloramentos rochosos, sendo estas comuns na área da pesquisa supracitada (Fig. 13).

Ademais, o Tanque de Pedra é considerado uma TS de baixo custo de criação e manutenção, com resultado excelente na captação e armazenamento de água de chuva (Pereira, 2021; Queiroz *et al.*, 2022). Embora a água armazenada em um Tanque de Pedra não seja suficiente para enfrentar uma seca prolongada, sua utilização é justificada por garantir a disponibilidade de água tanto para consumo humano quanto animal (doméstico e silvestre) por mais tempo em terrenos rochosos, onde a água poderia ser perdida por meio de escoamento superficial durante a estação chuvosa.

Figura 13 – Tanque de pedra



Fonte: Queiroz *et al.* (2022, p. 265).

Conforme defendido, o reaproveitamento de água da chuva, principalmente por cisternas, uma vez que pode ser utilizado para distintos fins, seja para uso familiar, institucionais e até mesmo para o tratamento de animais, se faz necessário aplicar o que é preconizado pela legislação.

Até o ano de 2022 a CODEVASF (2022) computou que o estado da Paraíba apresentava uma população estimada em 4.059.905 habitantes, distribuídos em 223

municípios do estado, o 13º mais populoso do país, com área total de 56.467,24 km², densidade demográfica 66,70 hab/km² e índice de desenvolvimento humano de 0,658.

Os principais reservatórios de água do Sertão Paraibano são compostos pela Barragem Doutor Estevam Marinho, chamada também de Açude Coremas (591 646 222 m³) bem como o açude Mãe d'Água (640 000 000 m³), na região de Coremas; Cachoeira dos Cegos (71 887 047 m³), em Catingueira; Capoeira (53 450 000 m³), localizada em Santa Terezinha; Engenheiro Arcoverde (36 834 375 m³), em Condado; e Farinha (25 738 500 m³) e Jatobá (17 516 000 m³), localizados em Patos conforme a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF, 2022).

Consoante ao clima, os recursos hídricos no estado apresentam algumas restrições devido à alta demanda para o abastecimento humano, uma vez que nas regiões hidrográficas do Alto e Médio Rio Paraíba, na subbacia do rio Espinhares e na bacia do rio Gramame se torna ineficiente. Com efeito, a bacia hidrográfica do rio Paraíba possui uma demanda maior para o abastecimento da Região Metropolitana de João Pessoa, que já recebe água da bacia do rio Gramame (CODEVASF, 2022).

Esse efeito se espelha na alta demanda de abastecimento para os moradores da região, pois a Zona Semiárida é a mais extensa em área, com 43.513,65 km² se comparado ao total de 77,1% do total do Estado. Somente nessa parte da Paraíba encontra-se o maior número absoluto de habitantes. Sua população, representa uma densidade demográfica com cerca de 29,8 hab/km². Sendo um indicador reflexo das dificuldades enfrentadas pela população, que mediante à escassez relativa de recursos naturais se caracteriza frente a menor densidade demográfica entre as zonas geoeconômicas consideradas (AESAs, 2016).

A população está sujeita a condições de insustentabilidade, tanto econômica quanto social, bem mais difíceis de controlar do que as encontradas nas Zonas Litoral-Mata e Agreste-Brejo. Comparado aos demais espaços semiáridos do Nordeste, o da Paraíba é um dos mais afetados pela degradação ambiental. Seu mapa está apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Mapa do Estado da Paraíba



Fonte: Dados Google (2024).

As mesorregiões da Paraíba são divididas em Mata Paraibana, Agreste Paraibano, Borborema e Sertão Paraibano. A CODEVASF (2022) divide destaca que o Estado é dividido em três sub-regiões do Nordeste, o Sertão Nordestino que abarca a metade oeste do território paraibano, o Agreste, ocupando a faixa central e a Zona da Mata, localizada na região leste. Sendo o Pico do Jabre é o ponto mais elevado do estado com a altitude de 1.197 m.

Seus recursos hidrográficos envolvem 11 Bacias Hidrográficas, a saber: Abiaí, Gramame, Paraíba, Miriri, Mamanguape, Camaratuba, Guaju, Curimataú, Jacu, Trairi, Piranhas. Todas apresentadas na figura 5 no mapa das Bacias Hidrográficas.

Figura 15 – Mapa das Bacias Hidrográficas do estado da Paraíba



Fonte: CODEVASF (2022).

O potencial fluvial de um rio ou aquífero, acompanha a medida gerada em sua foz ou embocadura sendo monitorada por postos ou estações hidrométricas. O potencial hídrico das Sub-bacias, Bacias ou Regiões Hidrográficas do estado da Paraíba é de 4.482,84 hm³/ano. E o potencial subterrâneo é de 652.240 hm³/ano (CODEVASF, 2022). A disponibilidade hídrica superficial máxima representa, a maior parte do potencial fluvial que pode ser utilizada. A disponibilidade superficial fluvial é de 2.130,26 hm³/ano, e a subterrânea é de 566,59 hm³/ano, totalizando 2.696,85 hm³/ano e os pequenos açudes têm 22,84 m³/s (CODEVASF, 2022).

Condizendo com a oferta climática conforme a classificação de Köppen-Geiger, é localizada a savana tropical (As e Aw), os semiáridos quentes (BSh) e a monção tropical (Am), sendo o semiárido o clima predominante no estado, conquanto, no litoral norte, ocorre o clima tropical úmido, havendo chuvas durante o outono e o inverno, compondo uma temperatura média de 26 °C com a média pluviométrica que atinge

cerca de 1.800 mm ao ano. Entretanto, na parte central da Paraíba, onde é travada pelo clima semiárido, prevalece o Polígono das Secas, com a média pluviométrica de 500 mm ao ano (CODEVASF, 2022).

Na Caatinga, a temperatura pode variar entre 25 °C e 30 °C. O clima úmido paraibano fica ao leste do litoral norte sendo chamado de clima tropical de savana com chuvas de verão. No litoral sul, o clima predominante é o tropical ou Am. O clima savana tropical (As) é predominantemente tropical, com temperaturas médias anuais de 27 °C, com índices pluviométricos médios de 800 mm anuais e um verão seco (Nascimento; Medeiros, 2023).

Consoante aos períodos de chuvas durante alguns períodos anuais, e a maioria do período anual sem chuva, se faz necessário o aproveitamento adequadamente das águas das chuvas (Bezerra *et al.*, 2010; Ribeiro; Oliveira, 2019; Silva, 2018; Vargas, 1999). Portanto, a próxima seção discorre acerca da estratégia do uso de cisternas para o armazenamento dessas águas.

2.6 Programa cooperar no estado da Paraíba

O Programa Cooperar no Estado da Paraíba é um projeto do Governo do Estado da Paraíba em parceria com o Banco Mundial, prometendo ser um dos alicerces para a promoção do desenvolvimento econômico e social da população da zona rural paraibana, em especial do semiárido (Governo da Paraíba, 2024).

O principal objetivo está na melhoria do acesso à água, para a redução da vulnerabilidade agroclimática, aumentando o acesso a mercado da população rural da Paraíba, em prol do aumento da renda e a geração de empregos. Com uma estimativa de beneficiar as 44,6 mil famílias, correspondendo a cerca de 165 mil pessoas entre os anos de 2019 até o presente ano de 2024.

São três linhas de ação, a saber: i) acesso à água, para o abastecimento d'água, incluindo o processo de dessalinização quando necessário, estabelecendo mecanismos de gestão para operar e manter esses sistemas; ii) redução da vulnerabilidade agroclimática, para a adoção de tecnologias que proporcionem aos beneficiários uma melhor convivência no semiárido, reforçando o impacto positivo das ações de segurança alimentar e nutricional dos pequenos agricultores; iii) acesso a mercado, para o apoio às Alianças Produtivas, frente às Associações e Cooperativas de produção, na gestão e acesso a mercados.

O financiamento do programa é realizado pelo empréstimo de recursos pelo Banco Mundial e da contrapartida do Governo estadual e das comunidades. Tendo uma abrangência de 222 municípios do Estado, sendo eles priorizados consoante os indicadores de meteorologia, produção agrícola e aspectos sociais. A população indígena e quilombola tem prioridade nas demandas encaminhadas ao Cooperar.

Uma das ações realizadas ocorreu no ano de 2022, pela PB Rural Sustentável que capacitou 3,5 mil famílias sobre construção, uso e manutenção de cisternas (Governo da Paraíba, 2022). As 3.500 cisternas foram instaladas em 69 municípios da Paraíba anunciada pelo governador João Azevêdo, que comunicou o valor da ação, representando um investimento de aproximadamente R\$ 40 milhões.

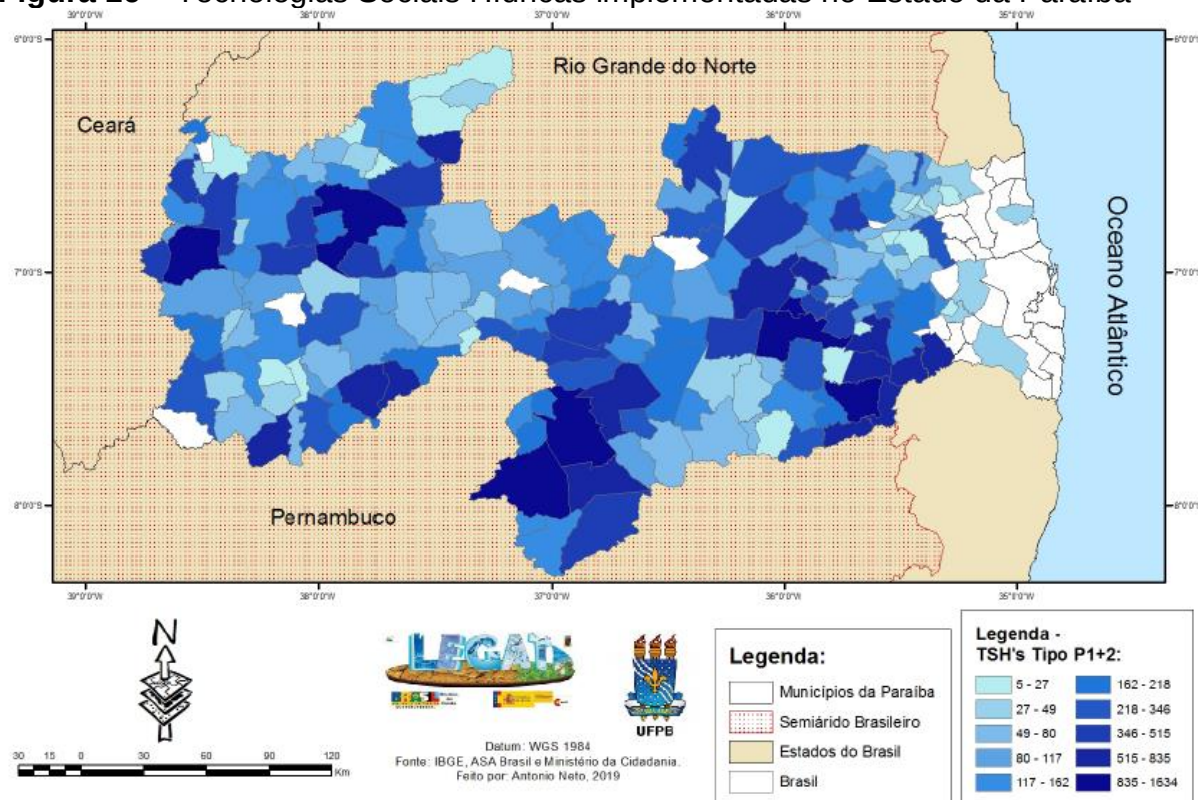
No balanço, foram citadas mais de 5.400 cisternas construídas e outras 2.400 que estão sendo feitas pelo Cooperar. Também foram divulgadas as mais de 50 passagens molhadas construídas e mais de 100 em andamento, bem como os 26 dessalinizadores entregues e os outros 12 que estão em processo de licitação (Governo da Paraíba, 2024).

Houve ainda o investimento de 80 milhões de dólares no PB Rural Sustentável, sendo 50 milhões de financiamento do Banco Mundial e 30 milhões de dólares de contrapartida do Estado, visando garantir a segurança hídrica, a sustentabilidade e o acesso ao mercado para os produtores rurais da agricultura familiar paraibana (Governo da Paraíba, 2024).

Assim como os programas P1MC, e o P1+2, que já entregou milhares de cisternas na região semiárida do Nordeste, o Cooperar ajuda a muitas famílias paraibanas, uma vez que o programa se trata de uma ação estadual, para o amparo das pessoas que sofrem com a seca, bem como falta de estruturação financeira, sagrando assim, um programa que se preocupa com a melhor qualidade de vida dos seus moradores, entregando o que é previsto na Constituição Federal de 1988, sessão II artigo 200, IV da participação da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico.

A figura 16 apresenta as Tecnologias Sociais Hídricas (TSHs) utilizadas nos Municípios da Paraíba consoante aos 61.390 equipamentos implementados em 184 municípios Paraibanos.

Figura 16 – Tecnologias Sociais Hídricas implementadas no Estado da Paraíba



Fonte: Souza Neto (2020, p. 42).

O P1+2 inicialmente se resumiu na construção de uma segunda tecnologia, voltada para as famílias que inicialmente tiveram acesso ao P1MC. Tendo agora como principal foco desta a construção de um segundo reservatório, desta vez de 52m³ e totalmente voltado para a água de produção, para pequenas irrigações e dessedentação animal. Frente aos programas houve a possibilidade de um considerável salto na qualidade de vida, e acesso a meios de escoamento e comercialização da produção dos moradores e comerciantes da região, ocorrendo, via política e programas governamentais como o PAA – Programa de Aquisição de Alimentos e PNAE- Programa Nacional de Alimentação Escolar.

2.6.1 Gestão atual do programa cooperar

Conforme comentado anteriormente, a gestão do programa COOPERAR se faz pelo Governo estadual da Paraíba, angariando parcerias, como a existente com o Banco Mundial, para o levantamento de fundos para a construção de cisterna de placas para o máximo de famílias possível (Fernandes, 2022; Governo da Paraíba, 2024).

Mas antes de melhor detalhar essa questão, se faz necessário, explanar a base legislativa que legaliza e rege o uso das águas das chuvas para o uso de consumo, ao passar pelo tratamento adequado. Nesse ínterim, Fernandes (2022) enaltece a importância da Lei 10.033/2013 para a implementação de tecnologia social no reuso de águas cinzas no estado da Paraíba. A gestão dos recursos hídricos no Brasil como um todo, apresenta caminhos e descaminhos no tecer da realidade de cada região, consoantes as normativas da ABNT e Ministério da Saúde.

Apesar de ter nascido em meio a Lei nº 6.523 de 10 setembro de 1997, o projeto COOPERAR é integrado numa natureza administrativa com natureza autônoma e provisória, com vínculos de gestão da Secretaria da Agricultura Familiar e Secretaria de Estado da Agricultura Familiar e Desenvolvimento do Semiárido (SEAFDS), sendo potencializada pela Lei 10.033/2013, quando em seu artigo 11 compilou que:

Fica instituído o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água – Programa Cisternas, com a finalidade de promover o acesso à água para o consumo humano e animal e para a produção de alimentos, por meio de implementação de tecnologias sociais, destinado às famílias rurais de baixa renda atingidas pela seca ou falta regular de água (Lei 12.873/2013).

Consoante ao texto supracitado, estima-se que a lei perpassa por duas lacunas, a primeira consoante ao reuso da água das chuvas, que nas cidades urbanas só era permitido para usos externos e agora cerceando tal limitação, pode sim, ser para o consumo humano, perante uma gestão de cuidado adequado. Conquanto, a segunda lacuna configura na customização da lei proporcional à necessidade da região do estado da Paraíba conforme apresentada na Figura 17.

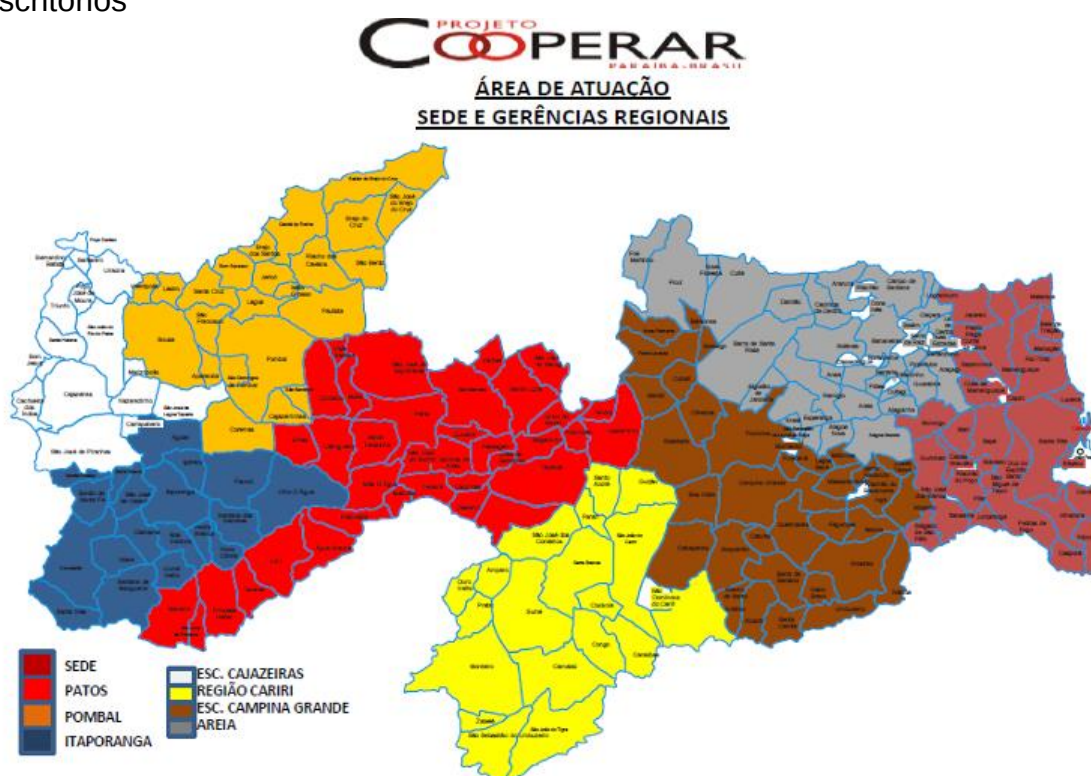
Posteriormente em 30 de outubro de 2017 foi criada a Lei 13.501 alterando o art. 2º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos, para a inclusão do aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos. O caput do art. 2º da Lei nº 9.433 passou então a vigorar acrescido do seguinte inciso IV: “incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais”.

De modo geral o uso e o reuso consciente da água concerne, atualmente, como um desafio social, pois, é necessária a utilização de recursos e técnicas para o manejo adequado da água, assim como no âmbito governamental, para a implementação de políticas que conscientize e eduque essa sociedade em prol do correto reuso e

armazenamento da água. Resultando em um ciclo benevolente também à ciência (Fernandes, 2022).

Vieira (2008) aborda que de maneira análoga a interferência das estratégias internacionais, em programas como o COOPERAR traz benefícios regionais, contudo, é imprescindível que o governo mantenha sua postura e coerência para atendimento dos preceitos comunitários e não dos interesses de outrem, enviesados em uma política ideológica estabelecida.

Figura 17- Área de atuação do Projeto COOPERAR por gerências regionais e escritórios



Fonte: Projeto COOPERAR (2021).

A distribuição da gestão acontece em meio a subprojetos desenvolvidos pelas associações representantes da comunidade, contudo, precisa ser eleito como principal demanda aprovado pelo Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural Sustentável (CMDRS), sendo pautada em reuniões para a sua legitimidade perante ao estatuto, tempo de aplicabilidade, controles, entre outros (PEREIRA, 2021). A estrutura administrativa dos gestores do programa é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 – Estrutura administrativa das gestões

Nível Central
Secretaria de Estado do Planejamento e Gestão – SEPLAG Unidade Técnica do Projeto Cooperar – UT
Nível Regional
Gerências e Escritórios Regionais
Nível Municipal
Conselhos Municipais de Desenvolvimento Rural Sustentável – CMDRS
Nível Comunitário
Organizações Comunitárias (Associações Comunitárias, Cooperativas, Núcleos de Integração Rural, Colônias de Pescadores, Aldeias Indígenas, Associações de Quilombolas, de Assentados da Reforma Agrária, dentre outras).

Fonte: Adaptado de Souza (2015).

O Projeto COOPERAR na versão atual III, se concentra em uma tendência sustentável, intitulado como Projeto Paraíba Rural Sustentável, se apresentando como uma evolução dos programas antecessores, acrescentando pontos cruciais como: Redução da vulnerabilidade agroclimática e o aumento do acesso a mercados da população rural pobre da Paraíba. O sentido real das ações está na promoção e desenvolvimento socioeconômico contemplando o desenvolvimento regional e territorial integrado, para a ampliação da oferta de serviços básicos e do acesso a oportunidades, como previsto por todo arcabouço legal nacional e estadual (Souza, 2015).

O custo total foi estimado do Projeto de acordo com a Lei Nº 10.487 14 de 23 de junho de 2015 em cerca de US\$ 80,0 milhões de dólares, dos quais o montante maior de US\$ 50,00 milhões de dólares foi proveniente do financiamento internacional do Banco Mundial e US\$ 30,00 milhões de dólares foram aportados pela contrapartida local, oriundo de recursos do tesouro estadual, com parceiros e beneficiários do Projeto. Sendo apresentado na Tabela:

Tabela 4 – Plano de Financiamento do Projeto Paraíba Rural Sustentável

Fonte de financiamento	
Banco Mundial	US\$ 50,00 milhões.
Governo da Paraíba e beneficiários	US\$ 30,00 milhões.

Fonte: Adaptado de Souza (2015).

O PB Rural Sustentável tem quatro partes, compreendendo toda a estratégia, planejamento e operação do projeto, abrangendo desde o secretário executivo até os membros das entidades associativas. O projeto é composto por diversos elementos, como: editais para a chamada pública; Plano de Gestão Socioambiental-PGS; Metodologia de Avaliação Socioambiental; um Sistema de Monitoramento e

Informação; Marcos de Gestão Socioambiental; Avaliação de Impactos Socioambientais; Manual Ambiental e Social de Obras, sendo o guia para os construtores; cursos, capacitações, oficinas e consultorias, tanto para os colaboradores internos do Projeto Cooperar quanto para os membros das associações.

Compreende uma série de ações que abrange desde a prevenção de pragas, conservação de ecossistemas e florestais, preservação cultural física, economia solidária, segurança de barragem e marcos de reassentamento involuntário que estimulam a recolocação de funcionários para a construção de empreendimentos.

Consoante aos controles das águas das cisternas, alguns autores encontram falhas em todos os programas (Estender; Siqueira, 2019; Lopes *et al.*, 2021; Nery *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2014; Souza Neto, 2020), principalmente no que tange ao armazenamento e cuidado com a água recolhida da chuva, tendo alto índice de contaminação bacteriológico por coliformes fecais.

Estender e Siqueira (2019) enfatizam que essas falhas podem estar ligadas à falta de cultura social de responsabilidade da gestão pública dos municípios, dos quais, deveriam incluir disciplinas que aprimorassem a consciência do cuidado das águas de cisternas desde o ensino básico, estando implementadas nos currículos escolares para estudantes das regiões paraibanas.

Apesar de todos os programas apresentarem uma centralização na inclusão familiar para o cuidado e tratamento de sua água, tendo como critério de inclusão que os integrantes familiares realizem cursos para a capacitação do tratamento, controle, higiene, e cuidado com os recipientes para a coleta da água, há ainda a necessidade do amparo às famílias contempladas, para a reflexão da importância higiênica no ato da coleta da água nas cisternas.

Nesse contexto, Estender e Siqueira (2019, p. 46) destacam que “A falta de uma cultura de participação e a realidade marcada por uma luta diária pela sobrevivência atua, muitas vezes, como agentes refreadores do engajamento popular na vida comunitária”. Logo, tal mobilização social depende de se acreditar que tais soluções possam nascer do envolvimento da própria comunidade organizada, por meio de sua criatividade, companheirismo e principalmente do inconformismo com a realidade que se deseja transformar.

Essas considerações exemplificadas por autores questionadores dos programas acerca da entrega de cisternas para pessoas de baixa renda, entonam que

apesar da gestão da água ser de cunho e responsabilidade dos familiares, sendo os protocolos disponibilizados para cada qual no treinamento realizado durante a construção das cisternas, as famílias posteriormente não continuam sendo assistidas ou até mesmo supridas para as manutenções desejáveis (Estender; Siqueira, 2019). Assim:

A intervenção pública, sempre alavancada politicamente na época das secas, ancorada no paradigma do combate à seca, não alcançou de forma efetiva essa população, sendo caracterizada por uma intervenção assistencialista, paternalista e clientelista. Tampouco se observou, de forma articulada e contínua, programas de melhoria da distribuição de água para as populações rurais, de forma que persistia no semiárido uma situação generalizada de insegurança hídrica, principalmente para a população rural difusa.

A atuação de um amplo conjunto de organizações da sociedade civil no semiárido fez surgir e se desenvolver um novo paradigma de política pública para a região, ancorado na lógica da convivência com o semiárido em contraposição à lógica do combate à seca (Arsky, 2020, p. 428).

O autor sistematicamente enfatiza a importância não somente de educar a sociedade, como dar suporte para a própria independência para os cuidados e durabilidade das cisternas frente ao uso adequado e preservação da água sem que traga prejuízos à saúde, contudo, os programas de benefícios no país, ainda precisa se desvincular do modelo clientelista, sem tratar a sociedade como clientes que precisam de algo em troca, para a conquista de votos futuros, outrossim, deve-se esboçar a real necessidade das famílias e seus contextos (Arsky, 2020).

Apesar das falhas citadas, o programa tem beneficiado milhares de pessoas do estado da Paraíba. Conforme defende Pereira (2021) além de promover o direito fundamental do ser humano de ter acesso à água potável, ele também exerce nas mulheres uma autonomia para a coleta da água, cuidado com os afazeres do lar, preparo de comidas, e também na conquista de emprego, uma vez que muitas mulheres puderam trabalhar na construção de suas próprias cisternas ou na mão de obra de outras construções, conforme apresentado na foto de uma construção pelo programa COOPERAR.

Figura 18 - Mulheres na construção de cisternas de placa



Fonte: Pereira (2021).

Diante disso, o projeto tem também potencializado o setor de agricultura e pecuária do estado, contemplando uma gama de necessidades das famílias de baixa renda da região, reduzindo a alta taxa de vulnerabilidade compreendida pela pobreza rural consoante ao índice pluviométrico regional (Estender; Siqueira, 2019; Pereira, 2021; Governo da Paraíba, 2022; Governo da Paraíba, 2024).

O Governo do estado da Paraíba (Governo da Paraíba, 2023) demarca que o programa promove a melhoria social dos homens e mulheres, trazendo uma melhor expectativa e qualidade para o homem e mulher do campo. Isso porque tem promovido medidas de acesso a água de cisternas, com técnicas de dessalinizadores e ADS.

Ademais, o Governo do Estado da Paraíba tem realizado uma gestão preocupada com a segurança dos habitantes no consumo de água da chuva, fornecendo técnicos que conduzam eventos com a explicação que já existe no PB RURAL SUSTENTÁVEL em prol da gestão para educação sanitária ambiental promovendo cursos de gestão de resíduos sólidos em propriedades rurais (Governo da Paraíba, 2024).

Há também a tecnologia Bioágua que:

Através das políticas de tecnologias sociais as comunidades recebem capacitação e cursos sobre a gestão das águas e o manejo adequado [...]. É preciso pensar sobre o uso integrado de tecnologias sociais como forma de potencializar as suas funções. Todo esse sistema da Bioágua não faria sentido se as famílias das comunidades rurais não tivessem suas tecnologias sociais hídricas de captação e armazenamento de água de chuva (Fernandes *et al.* 2022).

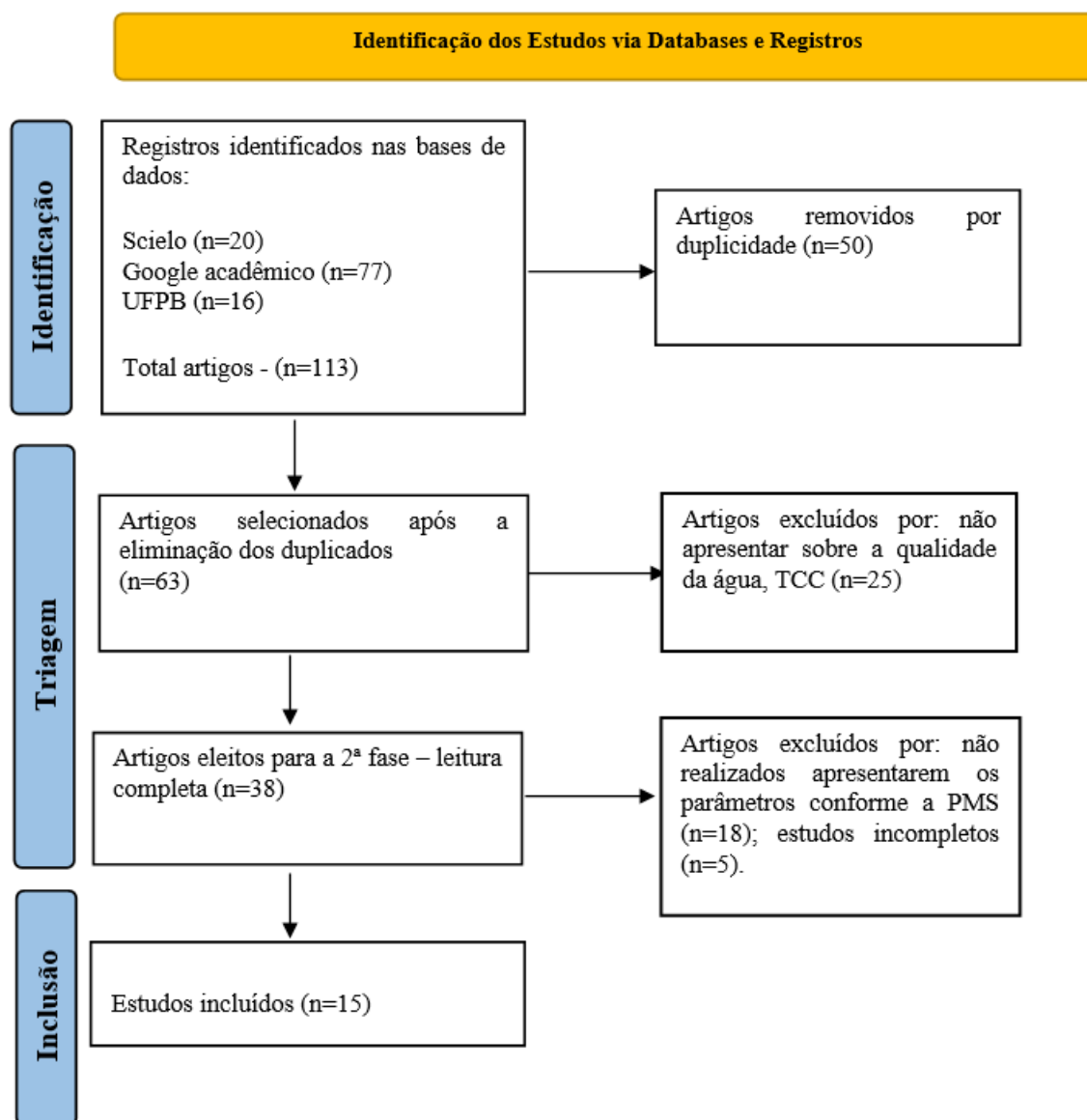
Portanto, entende-se que há toda a preocupação da parte da gestão de cisternas de água da chuva, para que a sociedade mantenha o tratamento adequado par o uso da água, contudo, a questão cultural derradeira se mantém costumeiramente na falta do controle parasitário, a fim de que se fortaleça os protocolos da qualidade da água consoantes aos aspectos físicos e bacteriológicos (Estender; Siqueira, 2019; Almeida *et al.*, 2020; Dantas *et al.*, 2021; Lopes *et al.*, 2021; Nery *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023).

Para melhor compreender como estão a qualidade das águas das cisternas entregues no Estado da Paraíba, pelos distintos programas apresentados em nossa fundamentação teórica, o próximo tópico apresenta uma revisão da literatura, com estudos originais, sobre a qualidade e eficiência das águas das chuvas armazenadas nestas cisternas.

2.6.2 Qualidade da água das cisternas do estado da Paraíba

Consoante às TSHs para a implementação das cisternas, se faz pertinente realizar o estado da arte quanto aos estudos empíricos disponíveis na literatura. Para tanto, utilizou-se o método de prima na versão 2020, para a realização da triagem, bem como a seleção dos estudos acerca do uso dos variados tipos de cisternas, bem como a mensuração de sua qualidade. Assim, as estratégias de busca envolveram os termos: “cisternas na Paraíba”; “qualidade da água das cisternas da Paraíba”; “cuidados com a água das cisternas da Paraíba”.

Após a leitura dos títulos e resumos nas bases de dados “Google Acadêmico”, “Scientific Electronic Library Online” (SciELO) e “Universidade Federal da Paraíba” (UFPB), com filtros do ano de 2018 a 2024. Como método de inclusão optou-se por estudos contendo o uso de água de cisternas para fins de consumo humano, seguindo os parâmetros legais. Como exclusão foram estudos de revisão, textos não científicos, e artigos publicados com mais de 5 anos. O fluxograma é apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Fluxograma dos estudos incluídos na revisão

Fonte: A autora.

Os 15 estudos incluídos estão apresentados na tabela 4 em ordem cronológica com autor/data, objetivos, parâmetros avaliados conforme os protocolos da Portaria do Ministério da Saúde, contendo os resultados:

Tabela 5 – Caracterização dos estudos do uso dos variados tipos de cisternas bem como a mensuração de sua qualidade

AUTOR /DATA	OBJETIVOS	PARÂMETROS AVALIADOS	PROTOCOLOS	RESULTADOS
Kalyne Lourenço <i>et al.</i> (2019)	Avaliar as condições construtivas e a qualidade de água do Programa Um Milhão de Cisternas na comunidade rural Poços em Cajazeiras-PB.	Físico-químicos, com análise de pH, cor aparente, turbidez, amônia, nitrito e cloro.	Inspeções visuais e técnicas in loco e com utilização de Fissurômetro para classificação das manifestações patológicas, checklist na comunidade rural, e registros fotográficos das cisternas.	Localização inadequada das cisternas, ineficiência no processo de manutenção, manifestações patológicas. pH, cor aparente, turbidez, amônia, nitrito e cloro, maioria dentro do padrão. Com nitrato acima do permitido pela PMS.
Silva <i>et al.</i> (2019)	Avaliar os processos de conservação e tratamentos adotados pelos proprietários de cisterna da comunidade Baixa Grande, Cachoeira dos Índios PB.	Filtragem da água para consumo e manutenção da água da cisterna. De	Questionário estruturado com perguntas objetivas, retratando as questões supramencionadas.	A utilização de cloro na desinfecção da água de cisterna foi mencionada por apenas 15% dos entrevistados que fazem uso desse método com a filtração, outros 10% realizam apenas a cloração.
Almeida <i>et al.</i> (2020)	Estimar o potencial de captação de água da chuva e a qualidade da água armazenada nos tanques naturais, no Sítio Olho d'água, Pocinhos, PB, e nas cisternas, na zona rural de Barra de São Miguel.	PAA-Físico-químicos: cor, turbidez e pH. Em 7 tanques naturais. PP- pH, Turbidez, Dureza, Alcalinidade Cor, Cloreto, e Bactérias heterotróficas Totais.	PAA = Coletadas nas margens e no centro, e levados para o laboratório CAGEPA. PP = garrafa PET de 500 mL, limpos, esterilizados e fechados para o laboratório de Saneamento Ambiental da UFCG.	Regime pluvial irregular, assimétrico, qualidade da água nos tanques de pedras e nas cisternas maiores que os estabelecidos pela PMS, não são potáveis. A maioria da água (das cisternas) está contaminada com bactérias heterotróficas.
Cardoso <i>et al.</i> (2020)	Determinar a qualidade da água antes e após o processo de dessalinização solar, como também foi avaliado o rendimento do dessalinizador.	Físico-químicas de alcalinidade, cloreto, condutividade elétrica, dureza, pH, sódio e turbidez.	Após dessalinizada recolhida e medida o seu volume em intervalos de 30 minutos, computando o volume total no final dos experimentos pelo SMEEM.	Muito eficientes na remoção dos parâmetros físico/químicos, estando os mesmos de acordo com os padrões de potabilidade exigidos pela PMS vigente no país.
Farto e Silva (2020)	Apresentar a evolução temporal de parâmetros de qualidade e a análise de conformidade da água armazenada em cisternas nos	pH, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos,	Análise bacteriológica no laboratórios da UFPB com procedimentos da SMEWW. Cálculo da média móvel de dois períodos, com os valores médios	Sem variações consideráveis nos parâmetros da água de chuva armazenada nas cisternas. Diferentemente das

	municípios de Barra de Santana, Boqueirão e Caturité, no semiárido do estado da Paraíba.	alcalinidade total, cor aparente, dureza total, cloretos, amônia, sulfato, nitrato, coliformes totais, coliformes termotolerantes, E coli e bactérias heterotróficas.	das medições de cada parâmetro de qualidade, em cada mês. dados pluviométricos e o percentual do volume dos açudes pela AESA-PB.	cisternas com águas de açudes. Houve conformidade em relação à PMS para todos os parâmetros físicos e químicos analisados nas cisternas com água de chuva.
Gomes (2020)	Avaliar e comparar os parâmetros físico químicos de amostras de águas de um poço e de uma cisterna localizado na cidade de Campina Grande.	Físico-químicas de pH, turbidez, cor, cloro livre, cloretos, dureza total e sólidos dissolvidos totais. De	pH mensurado por. Para a cor a comparação visual. Turbidez com turbidímetro. Cloro residual livre e Cloreto Argentómetro. Dureza total, com EDTA O E para sólidos totais dissolvidos mensurado pelo gravimétrico.	pH em conformidade com a PMS, cor, com 33,3 % a mais do permitido. Cloreto, em ambas as amostras, apresentou elevado teor, 170% para cisterna e 86% de poço a mais. Cloreto e cálcio também acima do estipulado e quantidade de sólidos totais dissolvidos superior ao permitido.
Sabino <i>et al.</i> (2020)	Realizar uma análise físico-química dos níveis de potabilidade da água de uma cisterna do sítio Capim Planta no município de Queimadas – PB.	dosagens de potencial hidrogeniônico, alcalinidade, acidez carbônica, dureza total (cálcio e magnésio), cloreto, condutividade elétrica, turbidez e cor.	Reagentes específicos para cada parâmetro e comparados com os valores da resolução de nº 357 de 17 de março de 2005 do CONAMA.	pH e cloreto total adequados, cloretos presentes na água nas formas de cloretos de sódio, cálcio e magnésio, concentrações acima de 250,0 mg/L, íons, ferro e manganês dentro do aceitável, durezas total, cálcio e magnésio 58, 38, 20 mg/L. quantidade maior de íons de magnésio.
Silva <i>et al.</i> (2020)	Comparar diferentes formas de aplicação da semente da Moringa oleifera na clarificação da água oriunda de cisternas, no município de Sumé, Paraíba.	Turbidez, pH e condutividade elétrica das amostras.	Planejamento fatorial 22 com 3 repetições no ponto central, tempo de tratamento quantidade dos coagulantes, turbidez, o pH e a condutividade elétrica das amostras.	Redução na turbidez de até 70%, ao aplicar o coagulante natural em pó, e de 86% para o coagulante químico em pó.
Dantas <i>et al.</i> (2021)	Avaliar a qualidade de águas de cisternas na comunidade rural de Santa Luzia, em Picuí-PB.	Físico-química e bacteriológica.	Coletadas amostras de água de cisternas, nas residências da comunidade.	Fora dos padrões recomendados pela PMS. Turbidez com valores acima do máximo permitido. Das análises bacteriológicas constatou-se que todas as amostras apresentaram contaminação por coliformes totais ou <i>E.coli</i> .

De Souza <i>et al.</i> (2021)	Desenvolver a atividade laboratoriais através da caracterização físico química das águas.	Temperatura pH, condutividade elétrica, cloretos, dureza total (Ca +2 e Mg +2), acidez carbônica (em termos de CaCO ₃), alcalinidade total, dureza de cálcio (Ca +2) e dureza de magnésio (Mg +2).	pH determinado por potenciométrico, com o pHmetro digital portátil. Parâmetros por titulação Cloreto; Alcalinidade; Dureza total; Dureza de cálcio; Dureza de magnésio; Acidez carbônica e Parâmetros por imersão do pH; Condutividade elétrica; Sólidos Totais Dissolvidos; Teor de cinzas; Temperatura.	Condutividade elétrica, dureza total (Ca +2 e Mg +2), cloretos (Cl) entre outros, fora dos parâmetros da PMS causando malefícios à saúde de quem a consumir.
Lopes <i>et al.</i> (2021)	Avaliar a qualidade de águas de cisternas e águas cinzas tratadas em propriedades rurais de quatro municípios no semiárido da Paraíba	pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos, salinidade, amônia, nitrito, sódio, potássio, coliforme totais e <i>E Coli</i> .	Única coleta nas cisternas e nos sistemas de tratamento de águas cinzas (coleta do efluente final dos filtros de tratamento), para o laboratório INSA.	Água sem qualidade satisfatório para o consumo, as águas utilizadas na agricultura, com padrões para uso irrestrito e/ou restrito pelas normativas internacionais, sendo essa variação resultante da composição e da manutenção dos filtros.
Machado <i>et al.</i> (2021)	Avaliar as águas de chuva armazenadas em cisternas no semiárido do estado da Paraíba.	pH, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, alcalinidade, cor, dureza, cloreto, amônia, sulfato, salinidade e nitrato.	Testes estatísticos para detectar se há diferenças entre os parâmetros da PMS.	Quase todos os parâmetros físico-químicos apresentaram-se em conformidade com a portaria, com exceção de cor, pH e turbidez.
Nery <i>et al.</i> (2021)	Avaliar a qualidade da água de fontes diversas, armazenadas em cisternas, em um assentamento rural no município de Cubati-semiárido da Paraíba.	pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, cor, turbidez, nutrientes nitrogenados e a presença de coliformes totais e termotolerantes.	amostras coletadas um dia após o abastecimento do carro-pipa e 30 dias depois, para avaliar se havia degradação da qualidade da água armazenada. As águas derivadas da chuva foram coletadas após captação (abril/2018) e nos meses posteriores. Sonda multiparamétrica, Colorímetro e Turbidímetro, SMEWW e para determinação de coliformes totais e <i>E coli</i> , utilizou o método de Substrato Cromogênico Enzimático -Colilert.	Águas não potáveis, apresentando elevados valores para os parâmetros de cor (49,6 a 196,5 uC), turbidez (6,9 a 83,9 NTU), nitrato (2,2 a 10,2 mg/L), coliformes totais e <i>E coli</i> .

Silva et al. (2022)	Verificar os parâmetros microbiológicos da água utilizada para consumo nas escolas públicas de São Sebastião de Lagoa de Roça, PB.	Microbiológicos por <i>E. coli</i> e bactérias heterotróficas.	As análises foram desenvolvidas em triplicata. Os parâmetros microbiológicos das águas foram determinados seguindo-se as metodologias da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).	Água das cisternas, com a presença de coliformes totais, coliformes termotolerantes e bactérias heterotróficas em uma das amostras. Não se detectou a presença de <i>E. coli</i> em nenhuma das amostras. Não se detectou coliformes totais, coliformes termotolerantes, <i>E. coli</i> e bactérias heterotróficas na água das torneiras. Já com relação as amostras de água dos bebedouros, em duas das amostras, a presença de bactérias heterotróficas com valores bem superiores ao que especifica a norma vigente.
Da Silva et al. (2023)	Verificar a qualidade microbiológica da água de cisternas das escolas públicas da zona urbana do município de Esperança-PB.	Coliformes totais, coliformes termotolerantes, <i>Escherichia coli</i> e bactérias heterotróficas.	Os parâmetros microbiológicos das águas foram determinados seguindo-se as metodologias da CETESB.	Todas as amostras apresentaram resultados positivos com relação aos coliformes totais e coliformes termotolerantes. Com relação a bactéria <i>E. coli</i> , apenas as amostras 3 e 4 apresentaram resultados insatisfatórios.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Nota: AESA-PB- Agência Executiva de Gestão das Águas; CAGEPA=Companhia de Água e Esgoto da Paraíba; CONAMA=Conselho Nacional do Meio Ambiente; CPLA= Cisternas de Placas de Concreto; CPOL=Cisternas de polietileno; INSA=Instituto Nacional do Semiárido; PAA=Para Água Armazenada, PMS= Portaria do Ministério da Saúde; PP= Para Potabilidade; SMEMM=Standard Methods for Examination of Water and Wastewater; UFCG=Universidade Federal de Campina Grande; UFPB=Universidade Federal da Paraíba.

Há um consenso na literatura consoante aos protocolos de qualidade da água, conforme a Portaria da Consolidação nº 5/2017 sendo a mais citada; Resolução de nº 357 de 17 de março de 2005; Portaria nº 518/04; Portaria 2.914 de dezembro de 2011, as quais são citadas pelos pesquisadores da presente revisão.

Consoante aos parâmetros avaliados, a maioria dos estudos, enfatizaram a mensuração do pH, e parâmetros físico/químicos, com 7 estudos mensuradores dos parâmetros microbiológicos (Almeida *et al.*, 2020; Farto; Silva, 2020; Dantas *et al.*, 2021; Lopes *et al.*, 2021; Nery *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023). Dos 15 artigos consultados, 3 foram em escolas (de Souza, 2021; Silva *et al.*, 2022, 2023) e os demais em residências familiares.

Das pesquisas que apresentaram poços ou poços e cisterna de água da chuva, um foi realizado por Cardoso *et al.* (2020) e outro por Gomes (2020). Os resultados foram diferentes, uma vez que o primeiro primou pela dessalinização da água via energia solar, sendo mensurada a qualidade da água antes e após o processo. Tendo como resultado que, antes do processo, a água estava ineficiente e não potável, contudo, apresentou grande eficiência frente à dessalinização solar tipo cascata, sendo sugerido pelos autores, essa estratégia de desinfecção da água, podendo ser aplicada em comunidades isoladas do semiárido paraibano, servindo de água potável. Enquanto Gomes (2020) comparou os mesmos parâmetros com o incremento da dureza total e sólidos dissolvidos totais, encontrou que a água do poço (valores superiores de cloreto e sólidos totais dissolvidos) e da cisterna (cor, cloreto e sólidos totais dissolvidos superiores) não estavam dentro dos parâmetros permitidos, com maior discrepância no ferro e cloretos, sendo necessário o encaminhamento para o centro de tratamento da água.

Consoante às cisternas localizadas nas escolas, houve também resultados distintos entre os estudos. De Souza *et al.* (2021) analisaram a água das cisternas escolares do município de Massaranduba-PB, todas da rede pública, somando 1000 alunos, localizadas na Zona Urbana da cidade. As cisternas eram abastecidas com água da distribuidora de água e também com águas oriundas de uma nascente localizada a 800 metros do centro da cidade. Assim, foram considerados os parâmetros físico/químicos, incluindo a dureza total. Frente aos resultados, os autores destacaram a eficiência da água, mesmo

com as amostras das 3 cisternas apresentando maior concentração de íons de cálcio, pois, ainda estava dentro do permitido, sendo a água potável e apropriada para o consumo humano.

Contudo, Silva *et al.* (2022) ao coletarem 5 amostras da água das cisternas, bebedouro e torneiras das escolas municipais da zona urbana de São Sebastião de Lagoa de Roça-PB, encontraram que somente a água das torneiras estava apropriada para consumo humano. Dos bebedouros, não estavam aptas, pois em duas amostras apresentaram valores para bactérias heterotróficas muito acima do estipulado, e das cisternas, uma das amostras se apresentou totalmente em desacordo com as recomendações. Semelhantemente, Silva *et al.* (2023) utilizaram a mesma metodologia, com 5 amostras de cisternas, porém de 5 escolas municipais de Esperança, no estado da Paraíba, localizada na mesorregião do Agreste Paraibano. Todas as amostras apresentaram resultados positivos com relação aos coliformes totais e coliformes termotolerantes. Consoante aos níveis acima do limite permitido, portanto, as águas fornecidas nas escolas são ineficientes para o consumo humano.

Almeida *et al.* (2020) amplificaram a pesquisa ao analisarem a água de 7 tanques naturais do Sítio Olho D'água, localizados no município de Pocinhos, PB e 12 cisternas, localizadas zona rural do município de Barra de São Miguel na microrregião do Cariri paraibano. Os indicadores da qualidade da água potável dos tanques de pedras, medidos com base nos parâmetros de e turbidez, foram maiores que os valores estabelecidos e a água das cisternas em sua maioria apresentaram contaminações com bactérias heterotróficas totais sendo um complicador o uso dos recipientes de coletas da água, como baldes, latas de zinco, alumínio, conectada com corda de náilon.

Farto e Silva (2020) ao analisarem os parâmetros físico/químicos de 12 cisternas dos municípios de Caturité; Boqueirão; e Barra de Santana, somando 4 cisternas de cada município, encontraram resultados satisfatórios para as cisternas abastecidas com água da chuva, enquanto as de açudes, apresentaram não conformidades quanto aos cloretos, cor e dureza. Contudo, similar aos outros estudos comentados, principalmente após o aporte de águas do rio São Francisco no açude Epitácio Pessoa, os resultados da qualidade microbiológica obtidos nas cisternas não foram satisfatórios. Salvo a exceção com a ausência da *E. coli*.

Dantas *et al.* (2020) analisaram as águas armazenadas em cisternas, oriundas de carros-pipa, dos poços, de açudes, de chuva e do Olho D'água das Onças, encontrando que algumas não apresentaram conformidade em alguns parâmetros físico-químicos. Conquanto, as águas distribuídas pelos carros-pipa apresentaram cor e teor de cloretos fora dos padrões; oriundas dos poços apresentaram turbidez, cor, teores de sódio, cloreto, alumínio e STD acima do permitido; oriundas de chuvas, apenas o teor de alumínio fora dos padrões; oriunda do Olho D'água das Onças apresentou turbidez, cor, dureza, sódio, cloreto e STD fora do recomendado; oriundas de açudes apresentaram a cor e o teor de cloretos fora dos padrões; das amostras de águas mistas, misturadas nas cisternas, tiveram, teor de cloreto e cor fora dos padrões, e nas análises bacteriológicas todas as amostras de águas analisadas apresentaram contaminação por coliformes totais ou *E.coli*. Contudo, a água dessalinizada, se encontrou dentro dos padrões de potabilidade em todos os parâmetros, porém com elevada vulnerabilidade de contaminação, em razão da precariedade do armazenamento e manuseio da água, com a necessidade da realização de ações de educação sanitária da população para melhor manuseio, armazenamento e coleta da água para consumo.

Por vez, Lopes *et al.* (2021) analisaram a fonte de água de 10 famílias, distribuídas nos municípios de Pocinhos, Olivedos, São Vicente do Seridó e Gurjão, dos quais, de cada residência, foram avaliadas a qualidade da água dos sistemas de abastecimento, por meio de cisternas, e os sistemas de tratamento e reuso de águas cinzas. Para tanto, realizou-se uma única coleta, nos sistemas de abastecimento de água das cisternas e nos sistemas de tratamento de águas cinzas (coleta do efluente final dos filtros de tratamento), em 10 pontos amostrais, sempre no período entre 9 e 11 horas, nos meses de setembro a dezembro de 2019. Quanto ao pH, somente a água advinda de chafariz apresentou um aumento, e as advindas de carros-pipa, captação pluvial, açudes, bem como chafariz, apresentaram baixas de nutrientes nas águas cinzas de reuso, variando de 0,02 a 5,5 mg/L de amônia, 0 a 0,77 mg/L para nitrito e 0,03 a 1,81 mg/L para fósforo. Contudo, todas estavam fora do padrão de potabilidade devido à presença de contaminação da água por *E. coli*. Os autores sugerem que as famílias passem por adequações com a implementação de uma cultura de preservação de qualidade das suas águas.

Consoante ao armazenamento da água nas cisternas advindas de diferentes fontes de um assentamento rural no município de Cubati-semiárido da Paraíba, Nery *et al.* (2021) monitoraram o pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, cor, turbidez, nutrientes nitrogenados e a presença de coliformes totais e termotolerantes, durante os períodos chuvoso (abril e junho/2018) e seco (dezembro/2018). Como resultado encontraram que as águas de todas as fontes analisadas não apresentaram características potáveis, pois apresentaram elevados valores para os parâmetros de cor (49,6 a 196,5 uC), turbidez (6,9 a 83,9 NTU), nitrato (2,2 a 10,2 mg/L), bem como de coliformes totais e *E coli*. Embora o armazenamento em cisternas possa ser uma alternativa viável de acesso à água para comunidades do semiárido, é evidente que é necessário um tratamento prévio antes de sua utilização, sendo a captação de água a fonte mais adequada para fins mais nobres, como beber ou cozinhar. Há, contudo, a necessidade de medidas que promovam a segurança hídrica, como avaliação da qualidade da água a ser consumida pelos moradores, principalmente das águas distribuídas por carros pipas, pelo fato de que os caminhões de transporte, em sua maioria, não atendem aos parâmetros do Ministério da Saúde exigidos, bem como apresentaram maiores valores de amônia, salinidade e STD.

Silva *et al.* (2019) também alertaram sobre a higiene dos proprietários quanto ao manuseio e armazenamento das águas de cisternas abastecidas somente pela chuva. Das 10 famílias da amostra, apenas 15% fazem uso do método com a filtração, outros 10% realizam apenas a cloração. Para os autores a falha do programa P1MC está na falta de órgãos competentes acompanharem e oferecerem condições para que as pessoas possam cuidar da melhor forma das suas cisternas. Necessitando de palestras educativas, que informe a população sobre as técnicas de manejo e conservação das cisternas de placa, uma vez que em algumas localidades ocorre a distribuição de Hipoclorito de sódio ofertada pelo Ministério da Saúde, para que a população possa utiliza-la na desinfecção da água consumida.

A vulnerabilidade ainda está nos tipos de cisternas fornecidos pelo programa P1MC, pois no estudo de Machado *et al.* (2021) quando compararam os tipos de cisternas de placas aos de polietileno verificaram que 10 dos 14 parâmetros físicos e químicos analisados, quais sejam, alcalinidade, amônia,

CE, cor, dureza, pH, salinidade, sulfato e TDS, não foi possível concluir que suas médias para os dois tipos de cisternas fossem iguais, pois, há influência dos materiais constituintes das cisternas na qualidade da água armazenada, encontrando-se ainda que, os parâmetros cor, amônia e dureza apresentaram maior variabilidade nas águas das cisternas de polietileno em relação às de placas de concreto. Conquanto, nas cisternas de placas e de polietileno, a cor e a turbidez não se mostraram em conformidade. Para o parâmetro pH a água das cisternas de polietileno não atendeu ao desejável, o que deve ser justificado pela acidez natural da água de chuva e pelo tipo de material, considerado como quimicamente inerte.

Kalyne Lourenço *et al.* (2019) também se preocuparam com os parâmetros das águas das cisternas da comunidade rural de Poços, em Cajazeiras-PB, bem como com a qualidade da água das cisternas fornecidas em meio ao programa P1MC, assim realizaram o diagnóstico do programa em meio a uma pesquisa bibliográfica e posterior realização de um estudo de caso. As coletas dos dados foram realizadas com inspeções visuais e técnicas *in loco* e com utilização de Fissurômetro para classificação das manifestações patológicas, na sequência, foi realizado o *checklist* na comunidade rural, e posteriormente, realizaram-se os registros fotográficos das cisternas, das manifestações patológicas encontradas. Em seguida, foram coletadas amostras de água nas cisternas para verificar sua potabilidade. Como resultado, obteve-se com o *checklist*, a identificação de problemas desde a localização das cisternas, passando pela ineficiência no processo de manutenção, e também foi apresentado grande número de manifestações patológicas. Quanto aos parâmetros físico-químicos, as análises de pH, cor aparente, turbidez, amônia, nitrito e cloro apresentaram-se, em sua maioria, dentro do estabelecido.

Sabino *et al.* (2020) tiveram objetivos semelhantes, ao realizarem uma pesquisa para mensuração da qualidade físico/química das águas das cisternas localizadas no Município De Queimadas – PB. Todas as cisternas se apresentaram dentro dos parâmetros, mesmo que os cloretos presentes na água nas formas de cloretos de sódio, cálcio e magnésio, apresentaram concentrações acima de 250,0 mg/L, das quais as durezas total, cálcio e magnésio foram respectivamente 58, 38, 20 mg/L, apontando que a água tem uma quantidade maior de íons dissolvidos de magnésio.

Quanto a preocupação com a turbidez da água, Silva *et al.* (2020) compararam diferentes formas de aplicação da semente da Moringa oleifera na clarificação da água oriunda de cisternas do município de Sumé-Paraíba. Todavia compararam a eficiência do coagulante natural em relação ao coagulante químico sulfato de alumínio. Utilizou-se alíquotas de 1,0 L de efluente para realização dos testes de clarificação, sendo aplicados como coagulantes o sulfato de alumínio e sementes de Moringa oleifera pulverizadas, nas formas particulada e em solução. Aplicou-se o planejamento fatorial 22 com três repetições no ponto central, para a verificação da influência do tempo de tratamento e da quantidade dos coagulantes sobre a turbidez, o pH e a condutividade elétrica das amostras. Como resultado verificaram uma redução de 70% na turbidez ao aplicar o coagulante natural em pó, e de 86% para o coagulante químico em pó. Portanto, concluíram que as sementes de Moringa podem ser aplicadas como coagulante no tratamento de águas de cisternas, reduzindo os teores de turbidez, com a vantagem de ser um produto natural de baixo custo, sem ainda promover alterações significativas no pH e na condutividade elétrica da água.

Perante os achados infere-se que o pH das águas de cisternas advindas das chuvas, dificilmente se apresentam fora dos padrões, tendo maiores variações para o cloro, magnésio, durezas totais e principalmente na turbidez. Contudo, para todos os estudos que abordaram os parâmetros microbiológicos, foram apresentados como fora dos padrões com exceção dos que realizaram a dessalinização, sendo esta uma opção proposta pelos autores. O indicador microbiológico, conforme afirmado pelos pesquisadores, reflete na falta de higienização adequada da água, dos recipientes de captação da água e até mesmo da própria cisterna como um todo, tendo um consenso na literatura, da necessidade de políticas educativas de como tratar a água e manter em um armazenamento seguro para o consumo.

2.7 A inovação social em meio aos programas de entregas de cisternas

A inovação social (IS) vem sendo um desafio para a melhoria da saúde e qualidade de vida da população e atores envolvidos (Medeiros; Gómez, 2019). Trata-se de uma expansão para além de um grupo social, pois, não deve se

limitar à interação social e prática social, outrossim, se manifestar de forma concreta, como um novo produto, seguindo os princípios da inovação aberta, atendendo à sociedade sob uma perspectiva mais ampla, e não apenas a determinados grupos de atores.

De igual modo, a adoção de iniciativas de IS precisa ser vista como uma forma de promover mudanças sociais benéficas, tendo em vista que o termo "social" é denominado uma construção social que surge como uma resposta à pressão da sociedade civil para melhorar o bem-estar humano e ambiental, objetivando a satisfação das necessidades que não são atendidas pelo Estado ou pelo mercado (Medeiros; Gómez, 2019). Nesse sentido:

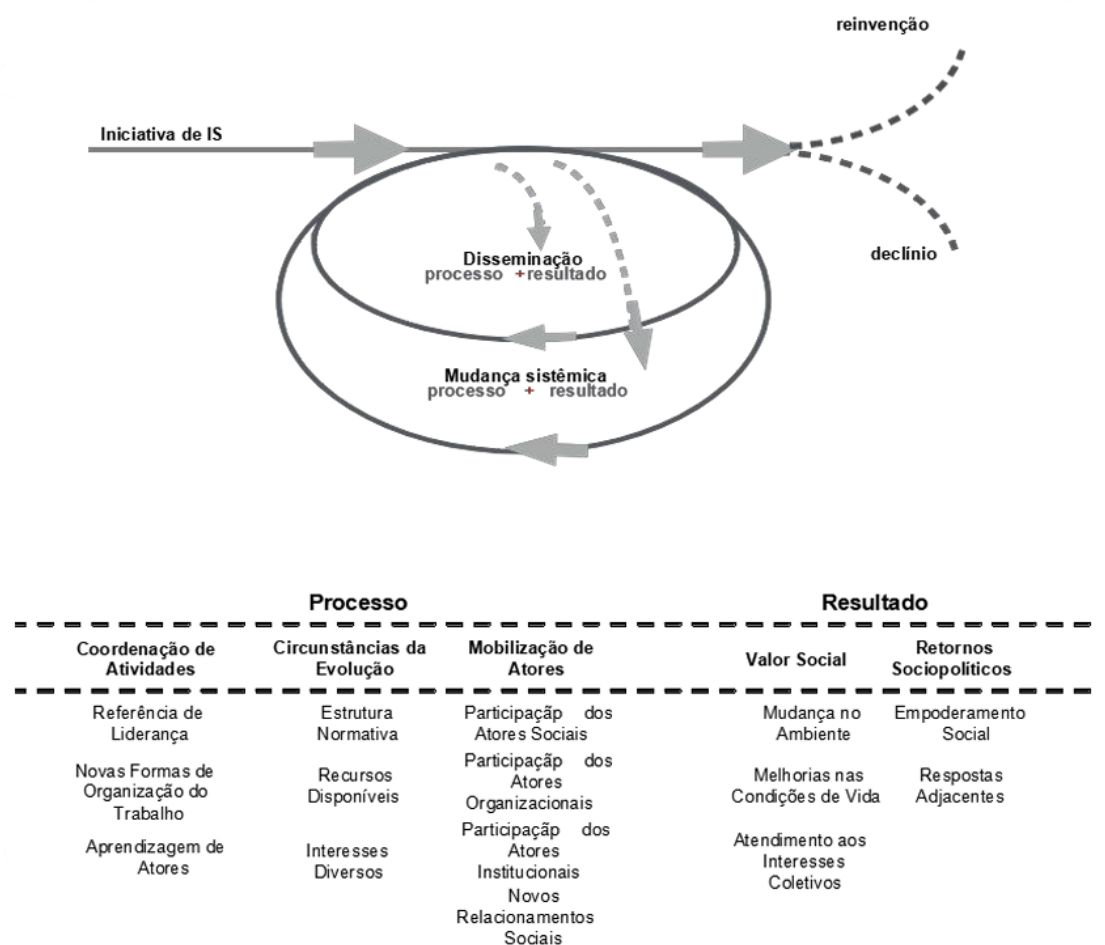
Os pesquisadores do *Bureau of European Policy Advisers* [...] consideram que as iniciativas de ISs que se expandem, tomando como ponto de partida atividades de indivíduos e/ou grupos autônomos para a definição de um projeto que passa a funcionar, de forma ampliada, em sua comunidade, podem ser consideradas como um exemplo de abordagem *bottom-up* da inovação social. Por outro lado, as iniciativas de ISs que se expandem tomando, como ponto de partida para seu percurso um ator externo, que pode ser o governo ou uma organização não-governamental, por exemplo, consideradas como *top-down* (Medeiros; Gómez, 2019, p. 45).

Sintetizando essa ampla visão acima mencionada, os autores destacam que na IS o período *bottom-up* garante as tomadas de decisões iniciais nas quais estas iniciativas ocorrem em meio à emergência de uma comunidade, onde os atores sociais estão envolvidos em um processo de aprendizado coletivo. Contudo, para se tornar uma IS deve envolver um movimento *top-down* emergido e desenvolvido por agentes externos como as instituições públicas, universidades, Ongs, setores privados, e todos os atores externos que participam ativamente na localidade (Medeiros; Kelner Silveira, 2023).

Medeiros (2018) apresenta uma proposta de análise que leva em conta ambas as perspectivas de processo e resultado, uma vez que, ao defender sua tese de doutorado, acreditou que não seria viável separar as práticas sociais criadas a partir das iniciativas de inteligência artificial das respostas obtidas com essas iniciativas. A ideia é que iniciativas de inteligência artificial podem ser percebidas de diversas maneiras, incluindo em termos físicos (produtos e serviços) e em termos intangíveis (conhecimento e intervenções). Este modelo é então adequado para avaliar iniciativas de inteligência artificial que já foram

adotadas como prática em seus territórios e que estão em processo de expansão em relação à sua configuração inicial. Entretanto, mudanças causadas pelas interações entre os atores e por circunstâncias externas podem afetar a trajetória dessas iniciativas. Logo, o autor realizou um esquema de todo o processo de IS conforme a figura 20.

Figura 20 - Processo de IS



Fonte: Medeiros (2018).

Na fase inicial do modelo, denominada “Disseminação”, os atores já adotaram a iniciativa de IS e a solução pode ser dividida em duas etapas: 1) ser exportada, como em uma IS associada a um produto ou serviço, e 2) ser amplamente difundida, quando a disseminação de conhecimento ou intervenção ocorre por meio das pessoas e suas redes. A segunda fase é chamada de “Mudança Sistêmica”, porque é quando a IS se organiza e muda a sociedade, criando novas formas de pensar e agir que desafiam o *status quo*. Com base nessa configuração, percebe-se que o propósito deste modelo é estabelecer um

ponto de partida para as discussões sobre iniciativas de IS nas fases “Disseminação” e “Mudança Sistêmica” do processo de expansão, enfatizando aspectos que podem ser relevantes para o sucesso, fracasso ou estagnação.

Ademais na perspectiva do desenvolvimento territorial, a IS se concentra no crescimento de comunidades e bairros e, sobretudo, na inclusão de grupos excluídos em diferentes esferas da sociedade. À semelhança da perspectiva de Psicologia, essa perspectiva se refere de forma explícita a uma postura ética de justiça e valores sociais, compreendendo as inovações como sendo intencionalmente planejadas e implementadas para solucionar problemas de exclusão social (Medeiros, 2018).

A IS converge então para além de uma participação local, envolvendo diferentes órgãos públicos governamentais e não governamentais. Tendo grande origem em meio aos programas de entrega de cisternas desde a década de 1990, envolvendo muitas pessoas na criação do P1MC (Medeiros; Kelner Silveira, 2023).

O programa começou em 1999 com pequenas comunidades regionais se transformando em uma organização que reúne mais de três mil organizações da sociedade civil que trabalham para ajudar a comunidade semiárida. Dentre elas, a ASA tem como objetivo fortalecer a participação social na criação de processos participativos para o desenvolvimento sustentável da região, tais como: lidar com o clima semiárido (em oposição ao conceito anterior de combater a seca), orientar os investimentos na região, incluir mulheres e jovens, cuidar dos recursos naturais e buscar meios de financiamento adequados (ASA, 2022).

A partir do primeiro programa supracitado novos programas de entregas e manutenção de cisternas foram lançados, envolvendo não somente a IS como também a melhoria da qualidade de vida de todos os contemplados, imbuindo uma reorganização cultural envolvendo a Educação em Saúde, bem como novas tomadas de decisões para a preservação das cisternas (Machado *et al.*, 2021).

No liame das mudanças sociais uma delas está na “Aprendizagem de Atores” essa aconteceu acerca dos afazeres sociais para os cuidados com suas águas armazenadas, cuidado com suas cisternas, bem como o tratamento das águas para o uso e consumo (Nunes; Silva, 2020). Envolvendo ainda novas vagas de empregos locais, e dos próprios moradores na construção de suas cisternas pelo CCM; para a produção adequada Capacitação de pedreiros em

construção de cisternas domiciliares ampliando a visão dos envolvidos; para estarem aptos a discutirem sobre os conteúdos centrais da proposta de convivência com o Semiárido, dada a real importância da cisterna como elemento mobilizador das famílias rurais.

As práticas de mobilização e capacitação são elementos que definem a ação, fazendo parte do processo que as caracteriza como tecnologias sociais, não como obras de engenharia que são executadas por empresas de construção, mas como tecnologias sociais que podem ser implementadas diretamente pelas famílias ou comunidades atendidas (Santana; Arsky, 2016).

Nesse íterim, a obra “A inovação social e o desenvolvimento sustentável na agricultura: o caso do projeto mulheres de corpo e alga” (Paula *et al.*, 2015) retrata os benefícios sociais implementados junto à entrega das cisternas, dando uma nova perspectiva para as mulheres do campo, fechando a lacuna do desemprego social feminino para a abertura de novos afazeres laborais como a aquisição do setor agricultor, na plantação de hortaliças (Ferreira *et al.*, 2016), bem como nas mãos de obras de cisternas, e cuidados familiares e pessoais, favorecendo o empoderamento feminino para aquelas chefes de famílias (Pereira, 2021).

Permeando todo aprendizado, Paula *et al.* (2015) mencionam que os participantes dos programas de cisternas vivenciaram as práticas sustentáveis para a comunidade, onde as entrevistadas se sentiam orientadas sobre as melhores formas de preservar e não destruir a natureza, se tornando mais conscientes.

Nesse sentido, os benefícios sociais originaram a mobilização dos atores, bem como a participação dos atores sociais, conforme menciona Medeiros (2018). Destas novas reações atitudinais, outras relações sociais foram evidenciadas, aprimorando o conhecimento da população local, desde termos técnicos, de orientação higiênica, até novas responsabilidades para cuidados dos seus patrimônios, como as cisternas, que nortearam para uma nova maneira de viver.

Nessa conjuntura, Henig (2023) menciona que o benefício social está para além do bem financeiro e material, elencando bens intangíveis do saber, na criação de uma sociedade ambientalmente sustentável, economicamente equilibrada e socialmente justa frente à integração interdisciplinar do saber.

Logo, essa interdisciplinariedade do conhecimento ocorreu através da interação entre os diversos fragmentos dos conhecimentos científicos, permitindo novas perspectivas teóricas, metodológicas e técnicas.

Para melhor explorar os benefícios já mencionados, compreende-se a importância de mencioná-los em meio aos novos programas existentes, como o Cooperar, que é realizado na região mais seca do Agreste nordestino, configurando as transformações sociais de um povo castigado pela seca.

2.8 Contribuições sociais mediante a entrega das cisternas para o Sertão Paraibano

As contribuições sociais envolvem a saúde da população do Sertão paraibano, retratada por Luna (2011) ao descrever sobre a importância de avaliar o impacto da construção de cisternas no processo de obtenção de água potável em regiões com escassez de abastecimento e carência de condições sanitárias. Essa importância se fez na redução das taxas de mortalidade infantil associadas a doenças transmitidas pela água.

Ainda em um passado não muito distante, e ainda realidade de boa parte da população do Sertão do Paraíba, a água é coletada por pontos de captação do reservatório subterrâneo, poços amazonas (cacimbão). A Figura 21 representa onde a água estava armazenada para o abastecimento de todas as famílias da região que não possuíam acesso a outra fonte de abastecimento (Dantas, 2013).

Figura 21 - Poços Amazonas - Cacimbão



Fonte: Dantas (2013, p. 32)

As cacimbas de areia, também como parte desse acúmulo de água no leito do Riacho da Cacimba Nova, compõem a jusante da barragem até a cidade de Santa Cruz do Capibaribe, 10 km, com efeito os cacimbões eram e ainda são utilizados não somente para o abastecimento de propriedades rurais, mas também para o fornecimento de água em caminhões pipa para áreas urbanas, sobretudo de Santa Cruz do Capibaribe. Localmente, a água é utilizada para consumo doméstico e para pequenas irrigações de capim e tomate, além de dessedentação do gado. Um modelo dessa reserva de água é apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Cacimba de Areia no leito do Riacho de Cacimba Nova



Fonte: Dantas (2013, p. 33).

As coletas de água costumeiramente realizadas de açudes, tem o seu transporte por baldes ou latas na cabeça, lombos de animais, carroças puxadas conforme as Figuras 23 e 24.

Figura 23 - Meio de transporte da água por animais e baldes



Fonte: Dantas (2013, p. 36).

Figura 24 - Meio de transporte da água com balde na cabeça



Fonte: Dantas (2013, p. 37).

As imagens retratam a realidade das famílias que vivem na Zona Rural de São João do Rio do Peixe-PB ao coletar suas águas nos reservatórios de

superfície de quatro açudes. Na época do estudo realizado por Dantas (2013) a região era composta por apenas as vinte cisternas de placa. Conquanto, a situação dos poços tubulares abastecia o público da região e quatro poços particulares encontravam-se abandonados outros ainda estavam em operação e, havia ainda um poço não instalado e outro paralisado.

Essas águas coletadas não passavam por nenhum controle de qualidade, transmitindo uma grande variedade de doenças, por diversos meios, até mesmo pelos recipientes utilizados para a coleta da água. O mecanismo de transmissão de enfermidades mais recorrente sempre esteve diretamente ligado à qualidade da água devido a ingestão dessa água não tratada, assim, os indivíduos saudáveis ao ingerir a água consumiam elementos prejudiciais à saúde, logo, a presença desses componentes no organismo humano levava ao surgimento de doenças (Dantas, 2013; Ferreira *et al.*, 2016; Henig, 2023; Machado *et al.*, 2021; Medeiros; Kelner Silveira, 2023; Nunes; Silva, 2020).

Um segundo mecanismo de infecção ao organismo humano, diz respeito à falta de ingestão adequada de água, o que resulta em hábitos higiênicos insatisfatórios e doenças relacionadas à má higiene. A qualidade da água quanto sua quantidade e regularidade de fornecimento são fatores cruciais para a ocorrência de enfermidades no ser humano, sem ela as diversas doenças como a cólera, diarreia, infecção intestinal, vômitos, entre outras, são as que mais afetam a população sem acesso à água tratada (ASA, 2022; Dantas, 2013; Ferreira *et al.*, 2016; Luna, 2011; Teixeira *et al.*, 2014).

Segundo dados apresentados no estudo de Teixeira *et al.* (2014) somente nos anos de 2001 a 2009, foram computados cerca de 4,51% óbitos por doenças infecciosas e parasitárias (ODIP). Neste período, houve uma variação de 4,68 para 4,26% no número de mortes causadas por doenças advindas da falta de tratamento da água, devido a inexistência do saneamento básico em diversas regiões do país, principalmente no Nordeste do país, no Agreste da Paraíba.

As categorias quanto às doenças e infecções são apresentadas no Quadro 4, das quais são originadas devido à falta de tratamento adequado.

Quadro 4 - Categorias e doenças transmitidas pela água contaminada

CATEGORIA	DOENÇA
Doenças de transmissão feco-oral	Diarreias, Febre entérica, Hepatite A
Doenças transmitidas por inseto vetor	Dengue, Febre amarela, Leishmanioses, Filariose linfática, Malária, Doença de Chagas
Doenças transmitidas pelo contato com a água	Esquistossomose e Leptospirose
Doenças relacionadas com a higiene	Doença dos olhos: Tracoma e Conjuntivites Doenças de pele: Micoses superficiais
Geohelmintos e teníases	Helmin tíases e Teníases

Fonte: Adaptado de Teixeira et al. (2014).

Das doenças diagnosticadas, no período de 2001 a 2009 a esquistossomose apresentou taxa de incidência média de 22,63 casos por 100 mil habitantes, principalmente com infestação endêmica em partes das regiões Nordeste. O Quadro 5 abaixo apresenta algumas complicações confirmadas que mais afetavam a população do Agreste, zona de maior seca.

Quadro 5 - Causas e contaminações pela água não tratada

CAUSA	CONTAMINAÇÃO
Diretamente pela ingestão da água	Água contaminada com urina ou fezes, humanas ou animais, contendo bactérias ou vírus patogênicos. Como a cólera, febre tifoide, amebíase, leptospirose, giardíase, hepatite infecciosa e diarreias agudas.
Falta de limpeza e de higiene com água	Má higiene pessoal ou contato de água contaminada na pele ou nos olhos. Incluem escabiose, pediculose (piolho), tracoma, conjuntivite bacteriana aguda, salmonelose, tricuriase, enterobiase, ancilostomíases, ascaridíase.
Parasitas encontrados em organismos que vivem na água ou por insetos vetores com ciclo de vida na água	Esquistossomose, dengue, malária, febre amarela, filarioses e oncocercoses

Fonte: Adaptado de Luna (2011).

Os principais desafios da saúde na falta de acesso à água potável davam maior destaque a doenças como as hepatites, a malária, a febre amarela, a cólera, a esquistossomose, a dengue, as leishmanioses e a hantavirose (Dantas, 2013; Luna, 2011; Teixeira *et al.*, 2014). Diante desta lista, é possível notar a relevância que ainda se atribui às doenças de transmissão hídrica ou que tenham como elo vital o meio ambiente. Dessa forma, compreende-se que não há como combater essas enfermidades sem considerar as populações rurais, onde a

captação e utilização adequada da água sempre foram mais negligenciadas do que nos grandes centros. Contudo, após a implementação dos programas de cisternas, esses problemas que causavam a morte de adultos e alto índice de morte na população infantil, teve grande diminuição devido ao melhor acesso e cuidado com a água.

Um estudo (Luna, 2011) realizado, em 21 municípios do Agreste Central de Pernambuco entre agosto e dezembro de 2007, com período de acompanhamento de 60 dias, apresentou uma casuística final que contou com 1.765 indivíduos onde se obteve em análise bivariada reduções significantes no risco de ocorrência de episódios diarreicos após da entrega de cisternas pelos programas P1MC, e o P1+2.

Pela compreensão da importância do tratamento da água, as famílias passaram a filtrar a água para consumo direto, cuidar dos recipientes de captação da água, preservar a água das cisternas, tendo a oportunidade também da utilização da água para consumo secundário, na agricultura irrigada e dessedentação animal, sendo todos esses tipos de cuidados encontrados no Sítio Cacimba Nova Zona Rural de São João do Rio do Peixe - PB. Tendo grande destaque na utilização das técnicas por aspersão e inundação para a agricultura irrigada (Dantas, 2013).

Corroborando a pesquisa supracitada, um estudo (Braga, 2024), foi realizado no município de Cajazeiras, no Estado da Paraíba, na Mesorregião do Sertão Paraibano, limitando-se a oeste com Poço José de Moura, Santa Helena e Triunfo, a sul São João do Rio do Peixe, Nazarezinho, a Leste Souza e Marizópolis, a norte São José de Piranhas, demonstrando que a construção dessas cisternas possibilitou a descentralização e promoveu a democratização da água, pela construção de grandes reservatórios localizados em áreas particulares, e assim as cisternas armazenam um volume específico de água para cada família, que antes dependiam desse recurso e agora são administradores próprios.

Como resultado, a Vigilância de Saúde, implementou a capacitação dos agentes familiares na preservação da água potável, com qualidade para consumo humano por meio da inativação de organismos patogênicos pelo uso cloro residual livre combatendo a contaminação da água por coliformes totais e *Escherichia coli*; possibilitando a eficiência da filtração durante o processo de

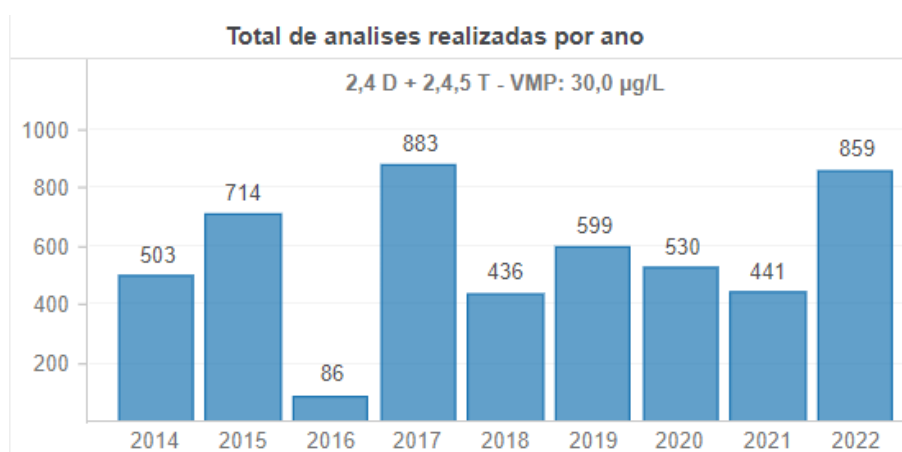
tratamento, verificando sempre a turbidez da água. Tais ações quando seguidas conforme o que é preconizado pelo Ministério da Saúde, diminui o índice de mortalidade pelo uso de águas contaminadas.

Essas benesses foram também implementadas pelo programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano tendo por objetivo de desenvolver ações de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, garantindo à população o acesso a água em quantidade suficiente e com qualidade compatível ao padrão de potabilidade estabelecido na legislação vigente, para a promoção da saúde (Ministério da Saúde, 2024).

Apesar do objetivo de melhoria de vigilância para o tratamento da água, as ações de saúde vão depender da capacidade e disponibilidade de recursos, especialmente para as cidades, responsáveis por cuidar da saúde e receber informações. Logo, um aliado ao desenvolvimento do programa de vigilância da qualidade da água para consumo humano dispõe de um banco de dados que alimenta um sistema de informações capaz de fornecer subsídios à definição de diretrizes gerais, ações de planejamento, alocação de recursos e avaliação de desempenho (Ministério da Saúde, 2024).

Dos dados apresentados, pelo sistema de informações, o gráfico abaixo apresenta o total de análises realizadas entre os anos de 2014 a 2022, apresentando a menor taxa no ano de 2016, tendo um maior número no ano de 2017, contudo, pelo número de análise compreende-se que elas não ocorrem em todos os municípios do Nordeste (Fig.25).

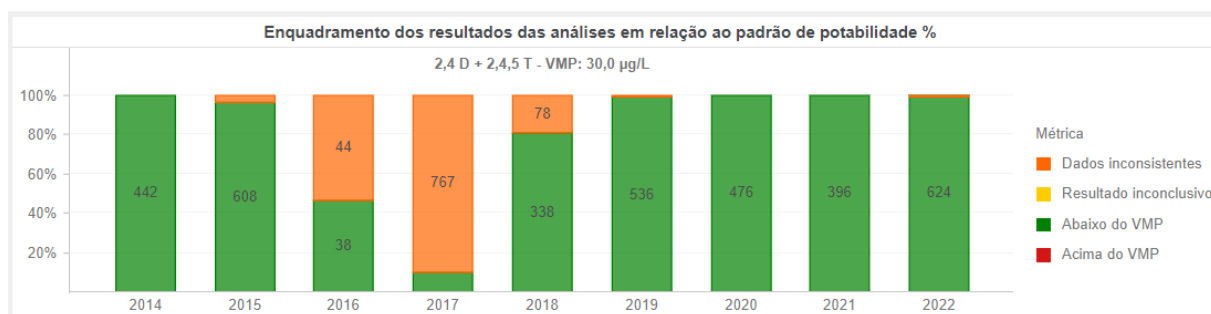
Figura 25 – Análises realizadas entre os anos de 2014 a 2022.



Fonte: Ministério da Saúde (2024).

Quanto ao percentual de enquadramento dos resultados das análises em relação ao padrão de potabilidade de toda a região, os resultados abaixo do valor máximo padrão ocorreu em maior instância no ano de 2022, no entanto, muitos municípios não tiveram essa mensuração e análise da qualidade da água.

Figura 26 – Resultados das análises com relação à potabilidade



Fonte: Ministério da Saúde (2024).

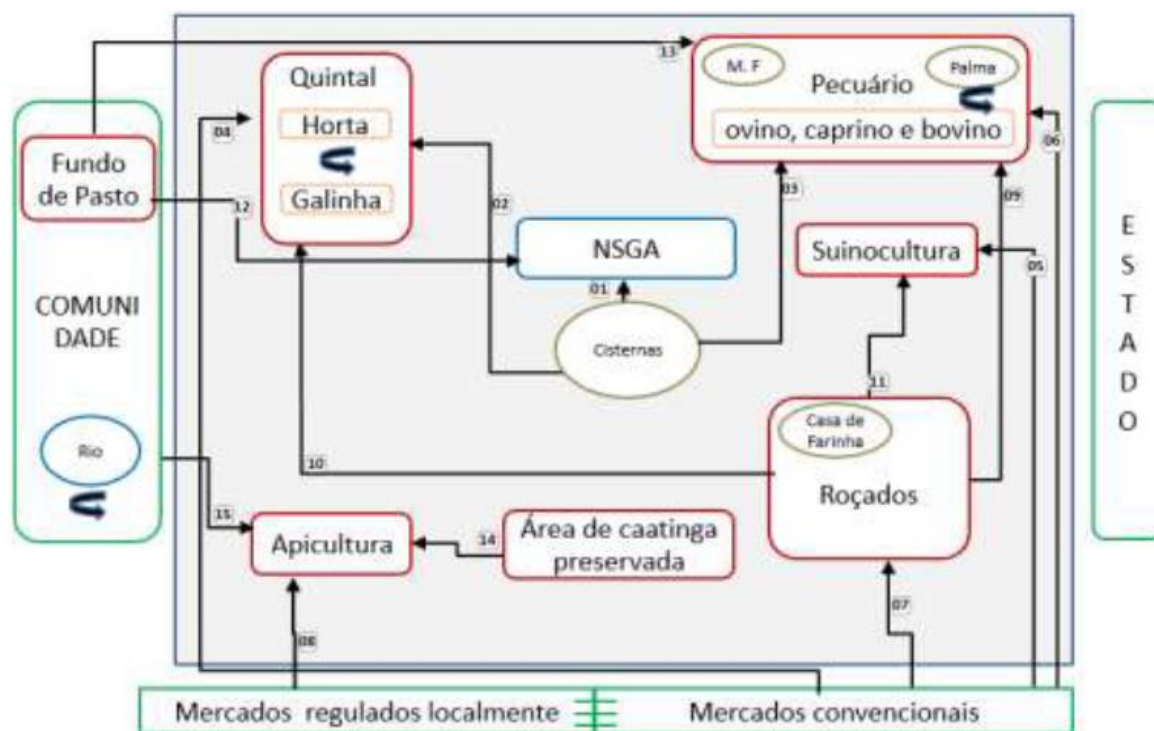
Os dados de 2022 apresentados na figura, vão de encontro com as ações do governador João Azevêdo que realizou a construção de mais 3.500 cisternas entregues a 69 municípios da Paraíba com a iniciativa do Banco Mundial. Estas ações foram executadas pelo projeto Cooperar, pelo PB Rural Sustentável, representando investimentos de aproximadamente R\$ 40 milhões (Fernandes, 2022).

Um estudo atual apresentado por Moraes *et al.* (2020) teve como objetivo realizar uma análise econômico-ecológica do agroecossistema no Sítio Cacimba do Meio no município de Casa Nova-BA, território do Sertão do São Francisco. No estudo, foi demonstrado consideráveis melhorias advindas da entrega das cisternas para as famílias locais, bem como o acesso às informações de como cuidar da água e das próprias cisternas. As orientações para o cuidado da água contribuíram para a diminuição de incidência de casos de doenças provocadas pela falta de higiene.

Moraes *et al.* (2020) demonstraram o fluxograma que contempla o progresso econômico e social devido à ampliação de trabalho, maior gestão econômico-ecológica, tendo em vista os mediadores de fertilidade por equipamentos e benfeitorias com as funções de armazenar, captar, transportar

e armazenar a água, nutrientes e energia mobilizados. O fluxograma é apresentado na figura 27.

Figura 27 - Diagrama de fluxos de produtos do Sítio Cacimba do Meio, Casa Nova, BA



Fonte: Moraes et al. (2020, p. 3).

O fluxograma apresenta um dos diversos modelos de agroecossistema, neste, são apresentados 27 tipos diferentes de produtos que vêm dos subsistemas. Há também a estratégia da família que consiste em equilibrar o consumo pessoal com a venda para outras pessoas convencionais. Progredindo para a sobrevivência do mercado interno, os produtos são comercializados internamente e praticamente todos os subsistemas fornecem seus produtos para o NSGA, contribuindo para o autoconsumo, favorecendo as relações de reciprocidade na comunidade.

Essa cooperação fortalece a cooperação na economia e diminui as pressões externas sobre o território (Moraes et al., 2020). As influências externas sobre o território que envolvem o subsistema são o quintal, que produz hortaliças diversas como a couve, beterraba, coentro, cebolinha, com a criação de galinhas de capoeira, fornecendo os ovos e carne. Todavia o subsistema roçado, com

milho, feijão, mandioca e melancia favorecem a venda e consumo agrícola; e o subsistema pecuário, com a produção de carne, esterco, couro, leite e seus derivados (Moraes *et al.*, 2020).

O presente capítulo apresentou a contribuição de distintos programas que iniciaram a entrega de cisternas, para as milhares famílias localizadas na região Nordeste, bem como aqueles que sofrem com a seca do Sertão da Paraíba. Os estudos apresentaram que conforme as cisternas foram sendo instaladas nas residências de cada família, as conscientizações acerca do cuidado e tratamento da água foi favorecendo uma maior saúde e qualidade de vida para adultos, idosos, crianças, e todos que vivem na região da seca. Os benefícios foram a diminuição da taxa de mortalidade por doenças de águas não tratadas; acessibilidade à higiene pessoal; geração de emprego; educação em saúde para as famílias cuidarem adequadamente da água, cisterna e recipientes de coleta de água; disposição de cloro e produtos para o tratamento da água; plantação de hortas e alimentos, bem como a criação de gados, galinhas, porcos para o autoconsumo e venda, contemplando o início de uma mudança social local, que ainda tem muito a progredir, mas graças às ações da internadas em hospitais, em relação ao 4º dia antes do início do PC1A. Os resultados indicaram que as principais causas de mortes hospitalares foram relacionadas ao consumo de água, reforçando a importância das cisternas na melhoria da qualidade da água. Os resultados da estimação de efeitos heterogêneos mostraram que o efeito foi mais intenso nos grupos de maior escolaridade.

De acordo com informações do Ministério da Saúde, uma internação no SUS custava cerca R\$ 1.813,29 em 2020. “Considerando o total de 132.724 pessoas presentes na amostra que foram internadas antes do início do Programa Cisternas 1ª água, estima-se que o projeto levou a uma economia de cerca R\$ 62,5 milhões aos cofres públicos”, explica Maria da Glória. Partindo da informação de que 44 mil indivíduos foram a óbito no período anterior ao início do programa e com base nas estimativas do efeito das cisternas sobre mortalidade, pode-se afirmar que houve uma redução de, aproximadamente, 12 mil mortes (Brasil, 2023b).

Em 2023, o MDS contratou a construção de 62,7 mil cisternas. O plano prevê a aquisição de mais 50 mil cisternas e a criação de um estoque para entrega em 2025. O Programa Cisternas beneficia 4.625 famílias rurais de baixa

renda com recursos do Fundo Amazônia. São tecnologias sociais de acesso à água para produção e sistemas pluviais multiuso.

A ideia é ajudar as pessoas que vivem em áreas protegidas, como florestas e reservas naturais, além de comunidades remanescentes de quilombos e projetos de assentamento agroextrativistas, nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Rondônia. Os habitantes das áreas atendidas terão a oportunidade de captar e armazenar a água da chuva, que será utilizada para consumo próprio e também para a produção de alimentos através de atividades produtivas sustentáveis (Brasil, 2023a).

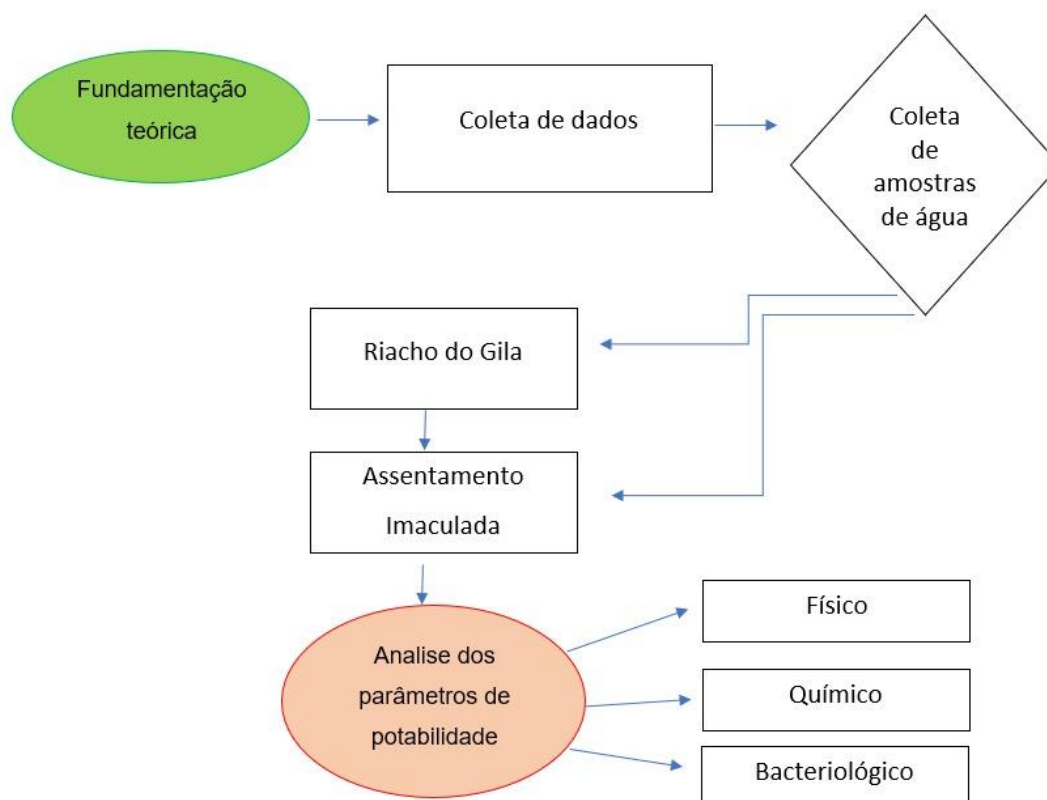
Até 2033, 99% da população brasileira deverá ter acesso à água e 90% à coleta e tratamento de esgotamento sanitário. O prazo estipulado pelo novo Marco Legal do Saneamento para atingir a meta de universalização é um grande desafio para assegurar o acesso à água para 86 milhões de brasileiros que ainda têm acesso insuficiente, assim como garantir o esgotamento sanitário para 107 milhões de pessoas que ainda não possuem coleta e tratamento adequados de esgoto. Os dados apresentados no Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) de 2017 consideram a infraestrutura de serviços implementada, levando em consideração a qualidade das soluções empregadas, bem como os aspectos socioeconômicos e culturais das populações atendidas. O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) foi elaborado em 2013 e publicado pela primeira vez em 2014 (ias_wordpress_admin, 2022).

O edital nº 10/2024 do Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (MDS) tem um valor global de R\$ 311.156.293,61, com contrapartida de R\$ 12.198.794,80 dos estados nordestinos, tendo o propósito do Programa Cisternas é aprimorar as condições de captação, armazenamento e utilização da água para consumo humano, produção de alimentos e alimentação animal, por meio do apoio à implantação de cisternas e outras tecnologias sociais de baixo custo e comprovada eficiência técnica. Nesse sentido o Projeto Cisternas ajuda famílias do Ceará com cinco tecnologias sociais: uma cisterna de placas de 16 mil litros, uma escola, uma chuva, uma calçada e uma reuso de água. O objetivo principal desta tecnologia social é proporcionar acesso à água de qualidade e em quantidade suficientes para o consumo humano de famílias de baixa renda e residentes em áreas rurais (Governo do Estado do Ceará, 2024).

3 METODOLOGIA

O presente tópico abordará os processos desenvolvidos para a construção do trabalho. Destaca-se que o referido estudo corresponde a uma pesquisa de campo, com desenvolvimento qualitativo, quantitativo e descritivo. O estudo realizado desenvolveu-se mediante a realização das seguintes etapas: fundamentação teórica, reconhecimento do programa cooperar no estado da Paraíba, levantamento das cidades da microrregião do Alto Sertão Paraibano beneficiadas com cisternas de placas, determinação da amostra representativa do total das comunidades beneficiadas, visitas in loco, triagem das cisternas, coleta de amostras de água, análise laboratorial das amostras e organização dos dados obtidos. O fluxograma 1 (Figura 28) apresenta sinteticamente as etapas de desenvolvimento da pesquisa.

Figura 28 - Fluxograma



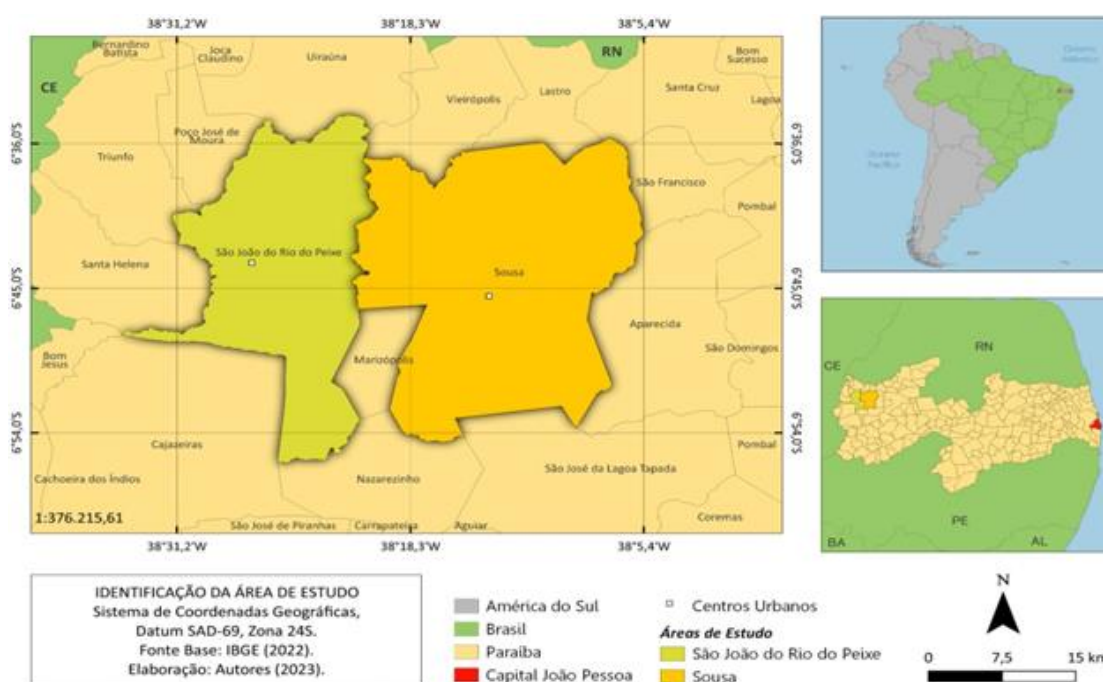
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

3.1 Caracterização do local da pesquisa

Inicialmente apresenta-se que todo o trabalho se desenvolveu com o estudo da interferência de cisternas de placas inseridas na microrregião do Alto Sertão Paraibano, especificamente nas comunidades rurais do Riacho do Gila e Assentamento Imaculada, localizadas respectivamente nos municípios de São João do Rio do Peixe (SJRP) e Sousa, ambos localizados no estado da Paraíba.

A Figura 29 apresenta a localização georreferenciada das cidades em questão, apresentando suas posições no território, essa representação permite entender a área de estudo.

Figura 29- Localização georreferenciada dos municípios



Fonte: Elaborada pela autora, 2025..

O trabalho desenvolveu-se em ambos municípios, mediante beneficiados com cisternas de placas pelo programa cooperar para comunidades rurais, por estarem geograficamente inseridos na região semiárida e no estado da Paraíba, as referidas comunidades rurais pertencentes aos municípios não são abastecidas com água por meio de sistemas públicos e privados de abastecimento. Ambos municípios apresentam condições climáticas com

temperatura média anual que varia entre 20,3 °C e 32,8 °C. A precipitação pluviométrica mensal, com valores inferiores a 324,1 mm/mês (INMET, 2024).

O município de São João do Rio do Peixe pertence à mesorregião do Sertão Paraibano e à microrregião de Cajazeiras. O município está situado a uma latitude de 6° 46' 57" S e uma longitude de 38° 01' 39" O, em uma área semiárida, característica do Sertão da Paraíba. Essa localização implica em um clima quente e seco, com uma média anual de temperatura em torno de 27°C. O município está a aproximadamente 466 km da capital João Pessoa, acessado principalmente pela BR-230, que liga várias cidades da região. (IBGE, 2021)

Com uma área territorial de aproximadamente 476,2 km², é considerado um município de pequeno porte. Conforme a estimativa do IBGE para 2023, a população do município é de cerca de 18000 habitantes, densidade demográfica de 37,72 habitantes por quilômetro quadrado.

Apresenta um PIB per capita de R\$ 12.515,6 e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,608. A maioria da população reside na zona rural, com destaque para o desenvolvimento de agricultura familiar e a pecuária.

O município de Sousa também é localizado no Sertão Paraibano, a cerca de 430 km da capital João Pessoa, com uma população estimada de 70.000 habitantes em 2023. A cidade ocupa uma área de 728.492 km² e possui clima semiárido, com temperaturas altas e chuvas irregulares. É um centro comercial e de serviços importante para a região, além de ser um polo de agronegócios, destacando-se na agricultura de grãos como feijão e milho, e na pecuária, com a criação de gado, caprinos e ovinos.

A economia de Sousa é diversificada, com forte presença do comércio, que atende à cidade e a municípios vizinhos, e a agricultura, sendo a base de boa parte das atividades econômicas. Possui 0,668 de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e continua sendo um polo importante para o Sertão da Paraíba, com boa infraestrutura e uma cultura vibrante que preserva as tradições nordestinas.

3.2 Fundamentação teórica

Para o desenvolvimento deste trabalho, realizou-se uma revisão bibliográfica abrangente, visando fundamentar teoricamente as análises e as discussões propostas. A pesquisa envolveu a consulta a uma variedade de fontes acadêmicas, como livros, artigos científicos, teses e dissertações, que permitiram uma compreensão aprofundada sobre o tema. Esse levantamento bibliográfico possibilitou identificar as principais teorias, abordagens metodológicas e tendências atuais na área de estudo, além de fornecer subsídios para a formulação de hipóteses e a definição dos objetivos da pesquisa.

Foram estabelecidos parâmetros de inclusão e exclusão que orientaram a seleção dos estudos analisados. Os critérios de inclusão levaram em consideração o ano de publicação dos trabalhos, priorizando aqueles mais recentes para garantir a atualidade das informações, além de trabalhos práticos, que trouxessem aplicações diretas dos conceitos estudados. Também foram incluídos estudos com temáticas semelhantes, que abordassem questões correlatas ao tema da pesquisa, como análise da qualidade da água em diferentes contextos. Além disso, foram selecionados estudos que investigaram comunidades rurais, principalmente no que diz respeito à análise da qualidade da água e às políticas públicas voltadas para esse público.

3.3 Visitas *in loco* e coleta de amostras de água

As visitas *in loco* iniciaram-se no mês de julho de 2023, com objetivo primário de reconhecer os acessos até as comunidades, os moradores locais e usuários, assim como, identificar os principais usos destinados para a água armazenada nas cisternas e seu estado de conservação. A Figura 30 apresenta o modelo padrão das cisternas analisadas, seguindo a mesma sistemática construtivas para todas as cisternas implantadas nas comunidades estudadas.

Figura 30 – Cisterna de Placa do Assentamento de Imaculada



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Mediante visitas realizadas e análise documental sobre o referido projeto Cooperar, observou-se que as cisternas no Município de São João do Rio do Peixe, dividiu-se em duas comunidades, sendo elas Riacho de Gila e Riacho do Ribeiro. Em termos quantitativos foram destinadas 119 cisternas para ambas as comunidades, sendo construída 75 cisternas na comunidade Riacho do Gila. A comunidade riacho do Gila se beneficiou-se com 75 cisternas, porém, não foram todas que estiveram em condições estruturais e de manutenção para armazenar água. Conforme visita em campo descartou-se 15 cisternas que estavam com água de chuva, assim como, as 10 cisternas secas e 40 cisternas estavam com água de chuva e da operação carro pipa. Em seguida destaca-se que a comunidade Assentamento Imaculada se beneficiou com 41 casa, porém, 15 estão secas, 10 com águas mistas e 6 sem acesso para coleta.

Na visita em campo, percebeu-se a possibilidade de coleta de amostras de água em 10 cisternas, sendo estas abastecidas exclusivamente por água da chuva. As amostras de água foram coletadas em dois períodos distintos do ano, em setembro de 2023 e abril de 2024, com o objetivo de analisar possíveis variações na qualidade da água ao longo do tempo.

A Tabela 6 apresenta as características gerais dos dez pontos de coletas. As amostras de água foram coletadas utilizando equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados, garantindo a segurança durante o processo. Descartaram-se a primeira retirada de água das cisternas, a fim de evitar

contaminações iniciais. As amostras foram coletadas conforme as práticas diárias da comunidade, ou seja, usando um balde e uma corda de nylon.

Tabela 6 - Características gerais dos dez pontos de coletas

Comunidade Riacho do Gila - Município de São João do Rio do Peixe					
Número das cisternas	Tipo de cisterna	Comunidade	Tipo de tampa	Retirada de água das cisternas	Desvio da primeira chuva
1	Placa	Riacho do Gila	Zinco	Balde	Os moradores informaram descartar a captação da primeira chuva.
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Comunidade Assentamento Imaculada - Município de Sousa					
Número das cisternas	Tipo de cisterna	Comunidade	Tipo de tampa	Retirada de água das cisternas	Desvio da primeira chuva
1	Placa	Riacho do Gila	Zinco	Balde	Os moradores informaram descartar a captação da primeira chuva.
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

As amostras foram armazenadas em garrafas PET previamente esterilizadas com álcool 70%, a fim de preservar a qualidade da água e evitar contaminações externas até o momento da análise. As garrafas foram também enxaguadas com a primeira água da cisterna, para posterior armazenamento. Após o armazenamento das amostras nas garrafas, estas foram colocadas em uma caixa térmica para o transporte, e as coletas foram transportadas. Em seguida, as amostras foram levadas ao laboratório de Saneamento do Centro Universitário Santa Maria – UNIFSM, e posteriormente direcionadas a Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES) para realização dos respectivos ensaios: Cor, turbidez, pH, nitrito e nitrato, fosfato, cloro e oxigênio distribuído. A Figura 31 apresenta o armazenamento das amostras em garrafas PET.

Figura 31 - Armazenamento das amostras em garrafas PET



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

3.4 Ensaios laboratoriais

Conforme apresentado, as amostras foram levadas para EXTRABES, para realização dos respectivos ensaios de caracterização de qualidade de água químico, físico e bacteriológico. O Quadro 1 apresenta a relação de ensaios e suas respectivas metodologias.

Quadro 6 - Metodologia aplicada aos ensaios

Laboratório	Parâmetro	Metodologia
EXTRABES	Ph	PHmetro
	Cor	Espectofométrico
	Turbidez	Espectofométrico
	Fósforo total	Espectofométrico
	Amônia	Espectofométrico
	Nitrato	Espectofométrico
	Nitrito	Espectofométrico
	Condutividade	Espectofométrico
	Alcalinidade	Titulométrico
	Cloretos	Titulométrico
	Dureza	Titulométrico
	<i>E-coli</i>	-

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

As amostras de água foram analisadas de acordo com os procedimentos estabelecidos, assegurando a confiabilidade dos resultados. Ambos os ensaios realizados foram desenvolvidos em duplicatas, com o objetivo de verificar a consistência dos dados obtidos. Essa abordagem permitiu validar os resultados e minimizar possíveis erros experimentais, proporcionando uma análise das características da água testada. A duplicação dos ensaios contribuiu para a confiança na qualidade dos dados coletados, essencial para uma avaliação correta das condições da água.

Para os ensaios bacteriológicos, conseguiu-se determinar a *Escherichia coli* (*E. coli*) através do ensaio COLILET - Quanti-Tray/2000. As amostras foram automaticamente divididas em porções corretas, mediante vedação em seladora. O sistema Quanti-Tray não requer o uso de tubos de ensaio, tubos de Durham ou quaisquer diluições. Ao distribuir automaticamente as amostras em 97 orifícios de 2 tamanhos diferentes, o Quanti-Tray/2000 proporciona um intervalo de contagem de

1–2.419– com um limite de confiança 95% melhor do que a diluição seriada em 15 tubos. Para este ensaio fez-se uso de um kit colilet, recipiente estéril de 100ml, seladora, estufa e incubadora com luz ultra violeta. As figuras 32 a 36 a seguir apresentam as sequências gerais dos ensaios. As amostras de água foram coletadas em recipientes de 2 l, porém, em laboratório fracionou-se a garrafas de 500 ml, mediante melhor logística de trabalho.

Figura 32 - Separação das amostras de água



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 33 - Cartela após passar pela seladora



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 34 - Cartelas na estufa



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 35 - Amostras de água com os reagentes



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 36 - Cartelas na incubadora



Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

3.5 Tabulação dos dados

Para a análise dos resultados dos parâmetros físico-químicos das águas de cisternas, pH, Turbidez (NTU), Amônia (mg/L), Nitrito (mg/L), Alcalinidade (mg/L), Dureza (mg/L), Cor (uH), Fósforo (mg/L), Nitrato (mg/L), Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e Cloretos (mg/L). Foi usado, como método de análise os testes estatísticos por comparação de médias. Dessa forma, os resultados foram dispostos em tabelas com os valores referente a cada parâmetro, compreendendo valores mínimos, médios e máximos em gráficos do tipo boxplot.

Os testes foram realizados no software Excel, com nível 5% de significância (0,05), sendo a hipótese nula rejeitada, caso o valor- $p \leq \alpha$. A análise estatística foi realizada no software Excel, utilizando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Nesse contexto, a hipótese nula (H_0), que assume que não há diferença significativa entre as médias dos parâmetros analisados, foi rejeitada quando o valor-p obtido nos testes fosse menor ou igual a 0,05 (valor- $p \leq \alpha$). Se o valor-p fosse maior que 0,05, a hipótese nula não seria rejeitada, indicando que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias. Esse método estatístico permitiu avaliar se as variações nos parâmetros físico-químicos observados são estatisticamente relevantes ou se podem ser atribuídas ao acaso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo aborda a apresentação dos resultados e discussão: para comunidade Riacho do Gila, localizada no município de São João do Rio do Peixe-PB, e da Comunidade Assentamento Imaculada, localizada no Município De Sousa, bem como a análise bacteriológica das águas das cisternas dos dois municípios.

4.1 São João do Rio do Peixe-PB

Os resultados estão apresentados de forma sumarizada por meio dos parâmetros estudados nos municípios São João do Rio do Peixe e Sousa. As tabelas 7 e 8 apresentam os resultados individuais dos parâmetros de qualidade da água, físicos e químicos, correspondentes às dez coletas realizadas nas comunidades de Riacho do Gila e Assentamento Imaculada, situadas nos municípios de São João do Rio do Peixe e Sousa, na microrregião do Alto Sertão Paraibano. Esses dados expressam a qualidade da água de chuva em termos de potabilidade armazenada em cisternas de placas nas referidas localidades. O objetivo é realizar uma análise sobre a potabilidade e adequação da água para consumo humano. Além disso, as informações obtidas contribuem para o monitoramento e a gestão sustentável dos recursos hídricos nas regiões.

Destaca-se que os dados apresentados foram obtidos a partir de amostras de água coletadas em dois períodos distintos do ano, correspondendo ao mês de setembro de 2023 e abril de 2024. Para observar possíveis diferenças nos valores dos parâmetros de qualidade da água ao longo do tempo, considerando as influências sazonais nas condições hídricas das regiões.

As tabelas 01 e 02 expressam os dados referentes aos parâmetros de qualidade de água para as coletas realizadas na comunidade Rural Riacho do Gila no mês de setembro de 2023 e abril de 2024. Ao confrontar esses dados com os valores máximos permitidos na Resolução GM/MS Nº 888/2021, percebemos que alguns parâmetros estão acima dos valores permitidos. Ao observar a faixa de variação do pH, para ambos os períodos, percebe-se que este parâmetro se encontra conforme os valores estabelecidos na resolução.

Tabela 7 - Qualidade de Água - setembro 2023 – SJRP

Amostra	Ph	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Fósforo total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Alcalinidade (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Dureza (mg/L)
1	7,05	5,35	10	0,002	0,1	4,65	0,1	75,5	33,24	4,57	40,25
2	7,25	5	8,3	0,001	0,1	3,75	0,1	78,22	34,78	5,23	40,55
3	8,15	6,2	9,25	0,002	0,1	4	0,1	98,58	55,42	6,32	50
4	8,25	6,35	10,65	0,002	0,1	4,65	0,225	98,33	56,66	6,23	50,3
5	9,1	7,05	12,7	0,01	0,225	6,1	0,41	112,11	75,58	7,29	65,4
6	6,6	5	9,9	0,002	0,1	4,4	0,1	77,2	43,76	5,18	40
7	8	6,3	9,6	0,002	0,1	4,55	0,1	99,75	60,06	6,1	40,7
8	6,9	5,65	11	0,006	0,1	5,25	0,1	71,28	34,38	5,78	40,25
9	8,2	6,75	12,65	0,01	0,28	6,35	0,33	103,66	57,34	6,59	50,7
10	8	6	10	0,002	0,1	4,5	0,25	100	57,26	6	50
Média	8,0	6,1	10,0	0,0	0,1	4,6	0,1	98,5	56,04	6,1	45,4
Variação	7,05 - 9,1	5 - 7,05	8,3 - 12,7	0,001 - 0,01	0,1 - 0,28	3,75 - 6,35	0,1 - 0,41	71,28 - 112,11	33,24 - 75,58	4,57 - 7,29	40 - 65,4

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Tabela 8 - Qualidade de Água - abril 2024 - SJRP

Amostra	Ph	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Fósforo (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Condutividade (µS/cm)	Alcalinidade (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Dureza (mg/L)
1	7,95	7,05	14,78	0,002	0,34	6,05	0,16	108,02	80,77	5,37	50,16
2	8,85	6,82	13,23	0,001	0,25	4,05	0,11	230,84	77,85	5,7	47,12
3	6,5	6,17	11,2	0,002	0,2	4,47	0,11	88,45	60,04	6,47	53,96
4	8,2	8,47	12	0,002	0,3	4,83	0,23	90,52	64,28	6,66	55,3
5	8	7,05	15,73	0,01	0,4	6,36	0,44	326,34	82,78	7,32	64
6	8,25	6,24	12,64	0,002	0,3	4,62	0,11	115,04	66,88	5,17	55,53
7	7,3	7,65	8,04	0,002	0,1	4,1	0,11	86,83	59,79	6,39	48,29
8	6,92	8,19	13,08	0,006	0,32	4,88	0,11	297,57	74,94	5,73	45
9	8,25	6,17	10,25	0,01	0,22	6,64	0,34	81,25	60	6,83	52,18
10	9	7,26	12,17	0,002	0,32	5,1	0,29	105,53	66,61	6	58,32
Média	8,1	7,05	12,405	0,002	0,3	4,855	0,135	106,775	66,745	6,195	53,07
Variação	6,5-9	6,17 - 8,47	8,04 - 15,73	0,001 - 0,01	0,1 - 0,34	4,05- 6,64	0,11 - 0,44	81,25- 326,34	60 - 82,78	5,17 - 7,32	45 -58,32

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

É observado que a variação do pH nas amostras analisadas, ficou na ordem de 6,5 a 9,1, propondo uma diversidade nas condições da água. Tendo em vista que um pH de 6,05 indica uma leve acidez, enquanto valores mais próximos de 9,1 reflete uma água levemente alcalina. Fatores externos como pontos de infiltração nas cisternas, carreamento de material para dentro das cisternas, presença de substâncias químicas e biológica, mediante que as janelas das cisternas ficam muito tempo aberta e sem proteção. Ao analisar a variação de todas as amostras, em ambos os períodos, percebe-se que cerca de 95% das amostras foram efetivamente com pH acima de 7, portanto, é considerado que para ambas as amostras independentes do período, o comportamento é de uma água com características alcalinas.

Ao observar o parâmetro de cor, este que está relacionado à presença de substâncias dissolvidas ou suspensas, como matéria orgânica, metais pesados, sais minerais e outros compostos, percebe-se que para o mês de setembro de 2023 a faixa de variação ficou entre 5 a 7, e que para o mês de abril de 2024, a faixa de variação esteve entre 6 a 8. Essa variação se caracteriza e se relaciona, especialmente, com a possibilidade de a comunidade não descartar efetivamente a primeira chuva, contribuindo para acúmulo de sujeira no interior da cisterna. Observa-se que nenhum ponto analisado esteve com esse parâmetro igual ou acima de 15 unidades de cor, sendo esse o valor máximo permitido.

Esse parâmetro elevado pode ser causado por fatores como o transporte de sedimentos, matéria orgânica ou poluentes, comprometendo a clareza da água e, conseqüentemente, sua qualidade. Esse nível elevado de turbidez merece atenção, pois poderá interferir na potabilidade da água, dificultando processos de tratamento e representando riscos à saúde. Destaca-se que 100% das amostras estiveram com seus valores acima do permitido, e que 50% das amostras coletadas no mês de setembro apresentaram o dobro do valor máximo permitido, enquanto para o mês de abril 90% das amostras estiveram acima do valor máximo permitido. Ao observar os respectivos dados, fica inerente que no mês de abril as intensidades de chuvas são maiores, conseqüentemente existe um fluxo maior de recebimento de água nas respectivas cisternas, assim como a possibilidade as chuvas primárias não serem descartadas.

Ao observar as variáveis de fósforo e amônia, ambos apresentaram resultados abaixo dos valores máximos permitidos. Destaca-se que o fosforo apresentou uma faixa de variação em ambos os períodos estudados entre 0,001 a 0,01, ou seja, com valores inferiores a 50% do valor máximo permitido. Por outro lado, a amônia apresentou uma faixa de variação um pouco maior comparado ao fósforo, mas ainda nos valores máximos permitidos, sendo essa faixa na escala de 0,1 a 0,28 para as coletas realizadas no mês de setembro de 2023 e na escala de 0,1 a 0,34 no mês de abril de 2024. Apesar dos valores analisados estarem abaixo dos valores permitidos pela resolução, é importante apresentar que o consumo de água com amônia em níveis acima dos limites estabelecidos pode causar problemas de saúde, como irritação nos olhos, na pele e nas vias respiratórias, além de potencializar distúrbios renais e hepáticos.

Ao analisar os parâmetros de Nitrato e Nitrito observou-se a normalidade consoante a Portaria GM/MS Nº 888/2021, que estabelece os padrões de qualidade para água potável no Brasil, os limites máximos permitidos (LMP) para nitrito e nitrato sejam do Nitrito (NO_2^-): Limite máximo permitido = 1 mg/L; Nitrato (NO_3^-): Limite máximo permitido = 10 mg/L (expresso em nitrogênio). Os valores observados nas tabelas 7 e 8 estão no limite permitido (1 mg/L), indicando conformidade com a legislação. De igual modo, todos os valores estão no limiar permitido (10 mg/L), indicando conformidade com a legislação.

Com base nos dados fornecidos, os níveis de nitrito e nitrato em todas as amostras estão nos padrões estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 para água potável. Isso sugere que a qualidade da água está adequada quanto a esses parâmetros específicos.

A tabela 9 apresenta os principais resultados da análise da qualidade da água coletada nas comunidades de Riacho do Gila e Assentamento Imaculada, situadas na microrregião do Alto Sertão Paraibano. Os dados referem-se aos períodos de setembro de 2023 e abril de 2024, com destaque para os parâmetros em conformidade e fora dos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021.

Tabela 9 - Principais Resultados da Qualidade da Água - SJRP

Parâmetro	Faixa Observada	Limite (LMP)	Máximo	Permitido	Situação
pH	6,5 - 9,1		6,0 - 9,5		Conforme
Cor (uH)	5 - 8		15		Conforme
Turbidez (NTU)	8,3 - 12,7		5		Não Conforme
Fósforo (mg/L)	0,001 - 0,01		0,1		Conforme
Amônia (mg/L)	0,1 - 0,34		1,5		Conforme
Nitrito (mg/L)	0,1 - 0,41		1		Conforme
Nitrato (mg/L)	3,75 - 6,35		10		Conforme

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

A tabela 10, expressa os valores encontrados para os parâmetros de qualidade de água para fins de potabilidade referente às coletadas realizadas na cidade de São João do Rio do Peixe-PB em setembro de 2023. As informações presentes correspondem aos resultados encontrados para mediana, média, menor valor, maior valor, 1º quartil e 3º quartil.

Tabela 10 - Parâmetros de qualidade de água e parâmetros estatísticos (setembro 2023)

Parâmetros de qualidade	Mediana	Média	Menor	Maior	1º quartil	3º quartil
pH	8,00	7,75	6,50	9,20	7,00	8,08
Cor (uH)	6,00	5,97	5,00	7,10	5,28	6,43
Turbidez (NTU)	10,00	10,41	8,00	12,90	9,73	11,10
Fósforo (mg/L)	0,0020	0,0039	0,0010	0,0100	0,0020	0,0040
Amônia (mg/L)	0,100	0,131	0,100	0,290	0,100	0,100
Nitrato (mg/L)	4,55	4,82	3,70	6,50	4,38	5,10
Nitrito (mg/L)	0,10	0,18	0,10	0,43	0,10	0,25
Condutividade (µS/cm)	98,59	91,49	70,00	112,58	77,36	100,00
Alcalinidade (mg/L)	56,08	50,85	32,89	77,26	35,87	57,16
Cloretos (mg/L)	6,00	5,93	4,15	7,58	5,30	6,45
Dureza (mg/L)	45,40	46,82	40,00	70,00	40,30	50,25

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Na Tabela 11, observam-se os valores dos parâmetros de qualidade de água também para o município de São João do Rio do Peixe, porém, em outro período, com as análises no mês de abril de 2024. Assim, calculou-se a partir

dos resultados obtidos nos ensaios dos parâmetros de qualidade de água os índices de mediana, média, menor e maior valor, 1º e 3º quartil, para referida localidade.

Tabela 11 - Parâmetros de qualidade de água e parâmetros estatísticos (abril 2024)

Parâmetros de qualidade	Mediana	Média	Menor	Maior	1º quartil	3º quartil
Ph	8,00	7,92	6,00	9,00	7,45	8,50
Cor (uH)	7,00	7,11	6,00	8,69	6,45	7,61
Turbidez (NTU)	12,31	12,31	7,89	15,86	11,30	13,58
Fósforo (mg/L)	0,0020	0,0039	0,0010	0,0100	0,0020	0,0040
Amônia (mg/L)	0,300	0,278	0,100	0,410	0,238	0,323
Nitrato (mg/L)	4,93	5,11	4,00	6,81	4,35	6,03
Nitrito (mg/L)	0,13	0,20	0,11	0,46	0,11	0,29
Condutividade (µS/cm)	106,72	153,04	80,00	328,00	88,58	229,71
Alcalinidade (mg/L)	66,77	69,40	59,58	83,19	60,06	77,44
Cloretos (mg/L)	6,00	6,17	5,02	7,56	5,58	6,78
Dureza (mg/L)	53,88	52,99	45,00	64,00	48,60	55,66

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Os dados estatísticos apresentados nas Tabelas 11 e 12 fornecem uma visão abrangente e detalhada sobre os parâmetros de qualidade da água em São João do Rio do Peixe-PB, considerando dois períodos distintos: setembro de 2023 e abril de 2024. Esses dados têm relevância significativa em vários contextos, incluindo saúde pública, gestão de recursos hídricos e sustentabilidade ambiental.

Na avaliação da potabilidade da água para fins de pH, a mediana e média de ambos os períodos indica uma água predominantemente alcalina, com valores nos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 (6,0 a 9,5). Um pH fora da faixa ideal pode impactar a saúde humana e interferir em tratamentos de desinfecção da água.

Quanto a cor os valores médios e medianos estão nos limites permitidos (≤ 15 uH), mas o aumento da cor no período chuvoso (abril) sugere influência de matéria orgânica ou sedimentos, assim como, falta de manutenção nas cisternas. Logo, em ambos os períodos, os valores de turbidez excederam o limite máximo permitido (5 NTU), especialmente em abril, com média de 12,31

NTU. Isso aponta para a necessidade de tratamentos adicionais antes do consumo humano, pois turbidez elevada dificulta a desinfecção e aumenta o risco microbiológico.

O impacto dos nutrientes na qualidade da água como o fósforo estão abaixo dos limites permitidos, a presença contínua desse nutriente pode favorecer o crescimento de algas em ambientes de armazenamento ou corpos d'água adjacentes. Os níveis de amônia aumentaram em abril de 2024 (média de 0,278 mg/L), indicando possíveis fontes de contaminação como fertilizantes agrícolas ou esgoto doméstico. Embora no permitido, níveis elevados podem impactar a saúde humana a longo prazo.

Ao analisar o Nitrato e Nitrito compreende-se que ambos os parâmetros permanecem conforme os limites regulamentares (10 mg/L para nitrato e 1 mg/L para nitrito). Contudo, o aumento dos valores no período chuvoso pode estar relacionado ao escoamento superficial de áreas agrícolas.

As tabelas apresentam aumentos significativos na condutividade em abril (média de 153,04 $\mu\text{S}/\text{cm}$) refletindo uma maior presença de sais dissolvidos, possivelmente devido ao transporte de minerais pelo escoamento das chuvas. A dureza da água em ambos os períodos permanece em faixas aceitáveis para o consumo humano. No entanto, o aumento na dureza média em abril pode indicar maior dissolução de cálcio e magnésio no ambiente.

A Gestão e monitoramento dos recursos hídricos consoante as variações sazonais são essenciais, uma vez que os dados mostram diferenças significativas entre os dois períodos, especialmente em parâmetros como turbidez, condutividade e amônia. Essas variações sazonais destacam a necessidade de adaptar estratégias de manejo de recursos hídricos às condições climáticas.

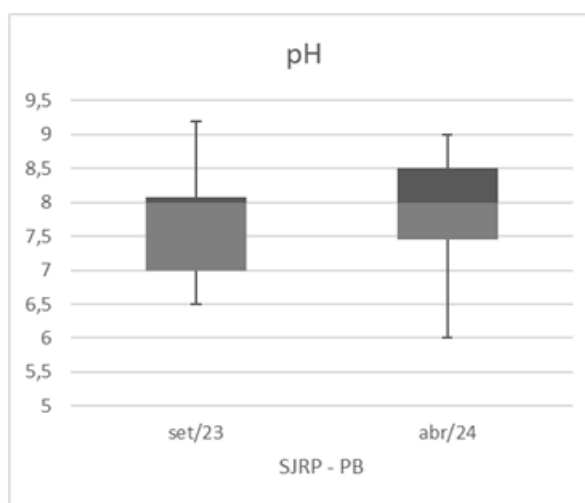
Outro achado no estudo foi que os parâmetros da amônia e nitrito indicam possíveis fontes de contaminação local, reforçando a importância de proteger as fontes de água de atividades agrícolas e domésticas. Os resultados alertam para a necessidade de tratamentos adicionais de água, especialmente no período chuvoso. Parâmetros como turbidez elevada e aumento da amônia podem representar riscos à saúde humana se não forem tratados adequadamente. A análise contínua é crucial para garantir que a água atenda aos padrões de potabilidade e esteja segura para consumo.

Em síntese os dados apresentados nas Tabelas 11 e 12 demonstram a importância de monitorar a qualidade da água de maneira sistemática e adaptada às condições sazonais. Esses indicadores são fundamentais para:

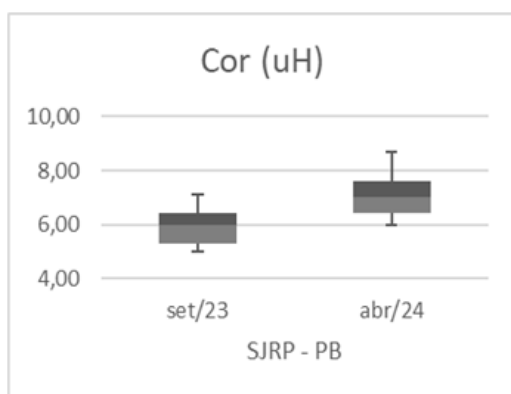
- Identificar tendências de contaminação;
- Planejar intervenções de tratamento;
- Assegurar o acesso a água potável de qualidade para a população.
- Investir em melhorias no armazenamento, no tratamento e no manejo dos recursos hídricos será essencial para reduzir riscos e promover a sustentabilidade hídrica na região.

A seguir apresenta-se nos gráficos apresentados nas figuras 37 a 45 os *bloxplot* dos parâmetros de potabilidade das águas em duas variações de tempo, em setembro de 2023 e abril de 2024, no município de São João do Rio do Peixe.

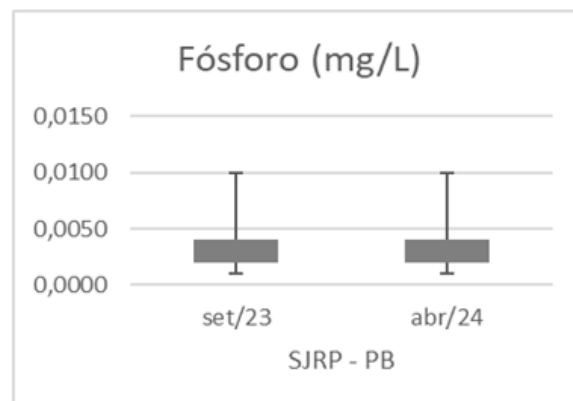
Figura 37- pH



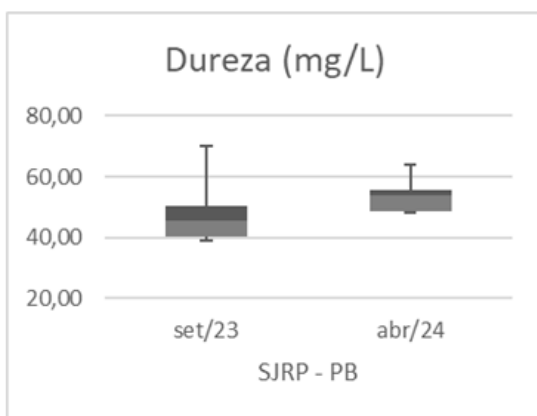
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 38 - Cor

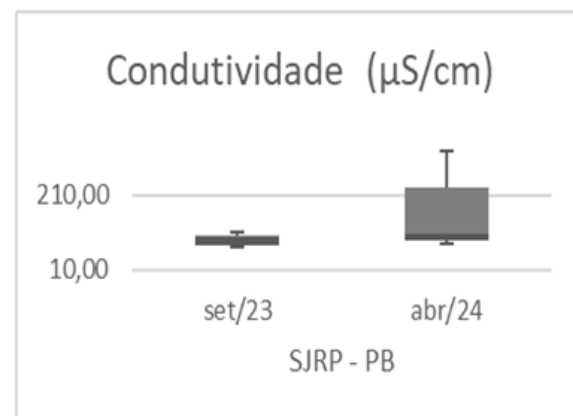
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 39 - Fósforo

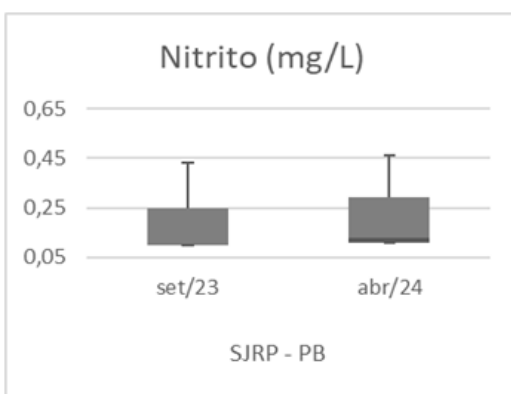
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 40 - Dureza

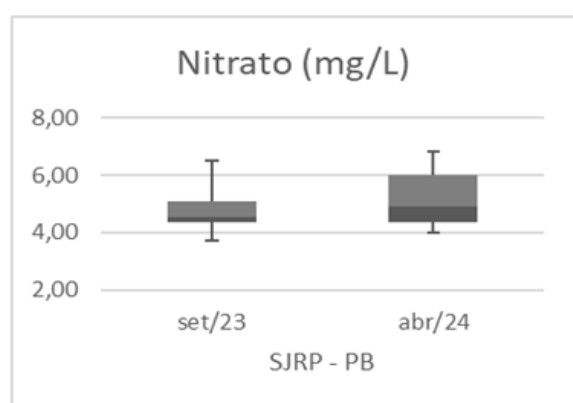
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 41 - Condutividade

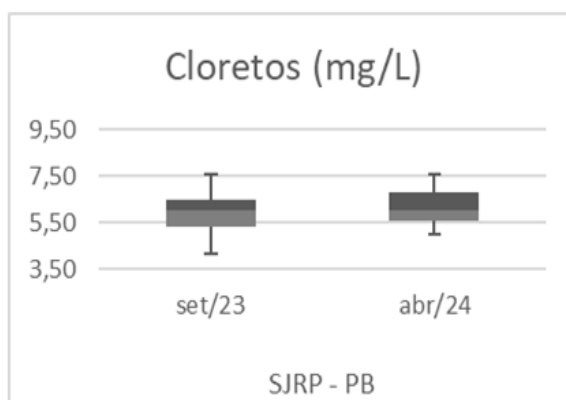
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 42 - Nitrito

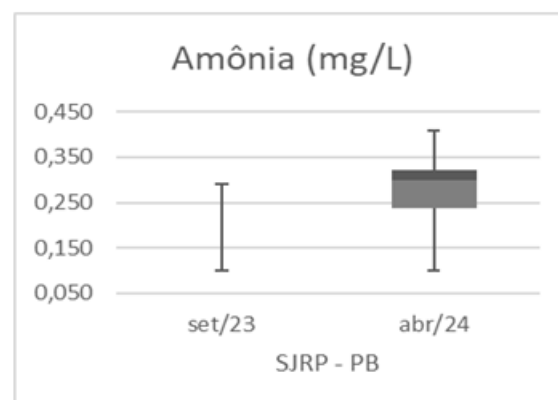
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 43 - Nitrato

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 44 - Cloretos

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 45 - Amônia

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Evidencia-se que houve maiores valores das medianas das águas coletadas em abril de 2024, para os parâmetros Turbidez (NTU), Amônia (mg/L), Alcalinidade (mg/L), Dureza (mg/L), Cor (uH) e Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Contudo, os parâmetros Turbidez (NTU), Nitrato (mg/L), Cor (uH) e Fósforo (mg/L) das águas coletadas nas duas datas indicam gráficos como simétricos.

Identifica-se que o boxplot com representação do pH, apresenta uma faixa estreita de valores, indicando uma consistência nas amostras. A maioria dos valores está próxima da mediana, com algumas variações. A água com pH estável é geralmente desejável para minimizar efeitos corrosivos ou incrustantes. A mediana está próxima de 7, com uma faixa interquartil estreita, indicando pouca variabilidade. Há alguns outliers abaixo de 6 e acima de 8. Ao observar o boxplot da Turbidez (NTU), observa-se que há uma variação notável nos valores. A caixa representa a maioria dos valores próximos da mediana, mas há alguns pontos de maior turbidez, indicando possíveis picos de partículas em suspensão em algumas amostras. A mediana é baixa, com a maioria dos valores concentrados em torno de 0-5 NTU. Existem alguns *outliers* significativos acima de 10 NTU.

O boxplot para amônia tem uma faixa de valores bem baixa, com a maioria das amostras próximas ao limite inferior. Isso indica uma boa qualidade em termos de contaminação orgânica, uma vez que níveis altos de amônia podem indicar poluição. Percebe-se que a presença da amônia influencia nos valores do pH, possível verificar nos boxplot entre os meses.

A distribuição dos valores de nitrito é baixa e relativamente constante, o que é positivo, ao indicar pouca variação e baixa contaminação recente de origem animal ou humana. A mediana é muito baixa, próxima de 0 mg/L, com poucos *outliers* acima de 0,1 mg/L. Enquanto que o gráfico de alcalinidade mostra uma ampla faixa de valores, com alguns valores muito mais altos. Uma alcalinidade variável pode indicar diferenças na capacidade da água de neutralizar ácidos, o que pode ser importante para a estabilidade do pH. A mediana está em torno de 100 mg/L, com uma faixa interquartil ampla, sugerindo variabilidade significativa. Há *outliers* acima de 200 mg/L.

A dureza da água também varia consideravelmente, com uma ampla faixa de valores. Água com diferentes níveis de dureza pode ter diferentes efeitos na utilização doméstica e industrial, como em equipamentos e encanamentos. A mediana está em torno de 150 mg/L, com uma faixa interquartil ampla e *outliers* acima de 300 mg/L.

A variação na cor é moderada, com a maioria dos valores agrupados. A cor pode indicar presença de compostos orgânicos e minerais, e valores consistentes indicam uma água visualmente clara, sem grandes variações de contaminação orgânica. A mediana é baixa, com a maioria dos valores concentrados abaixo de 50 uH. Existem alguns *outliers* significativos acima de 100 uH.

O fósforo mostra uma baixa concentração, com pouca variação entre as amostras. Isso sugere pouca influência de poluição agrícola ou de esgoto, já que o fósforo é um nutriente frequentemente associado a essas fontes. A mediana é baixa, próxima de 0 mg/L, com poucos *outliers* acima de 0,1 mg/L, não houve mudança nos valores plotados, manteve-se igual com o passar dos meses.

O nitrato apresenta uma faixa moderada de valores, indicando variação na possível contaminação por resíduos. Altos valores de nitrato podem ser prejudiciais, especialmente para água potável. A mediana está em torno de 10 mg/L, com uma faixa interquartil moderada e alguns *outliers* acima de 20 mg/L. Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$): A condutividade mostra uma ampla faixa de valores, indicando variação significativa nos íons dissolvidos. Isso sugere diferenças na mineralização ou possíveis influências de fontes de poluição. A mediana está em torno de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com uma faixa interquartil ampla e *outliers* acima de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Os valores de cloretos apresentam uma variação considerável, com alguns valores extremos, o que pode estar relacionado a diferentes fontes de salinidade ou contaminação por atividades humanas. A mediana está em torno de 50 mg/L, com uma faixa interquartil moderada e alguns *outliers* acima de 100 mg/L.

Em Resumo:

Os boxplots fornecem uma visão detalhada de como cada parâmetro varia entre as amostras. A maioria dos parâmetros está em uma faixa controlada, sugerindo uma qualidade de água aceitável. No entanto, alguns parâmetros, como turbidez, dureza, alcalinidade e condutividade, apresentam variação significativa, o que pode indicar mudanças nas características das fontes de água ou impactos de fatores externos, como poluição e características naturais do ambiente.

Os gráficos reforçam que ocorreu maior variabilidade de parâmetros como amônia, Nitrato, Dureza e Condutividade nas águas de cisternas em relação ao mês de setembro de 23 e abril de 24, mostrando que no período chuvoso há uma diferença na composição da água. Também foi observado que ocorreram *outliers*, ou seja, um desvio significativamente da tendência geral de um conjunto de dados nos parâmetros, tais como Amônia e condutividade, que mostraram pontos abaixo dos valores mínimos para a água coletada em set de 23.

Já a alcalinidade apresentou valores acima do ponto máximo para o período abril do ano de 2024. Com relação a valores extremo, foi possível observar no parâmetro condutividade no mês de set 23 para abril 24, acima dos pontos máximos. Contudo, os parâmetros estudados apresentaram resultados comparativos de média os quais a Hipótese H0 não é rejeitada, demonstrando que não houve mudanças bruscas entre os valores das medianas referente a qualidade de água coletada entre os períodos.

4.2 Município de Sousa

Os dados apresentados nas tabelas 12 e 13 indicam que a maioria dos parâmetros analisados estão conforme os limites estabelecidos pela GM/MS Nº 888/2021, demonstrando uma boa qualidade da água na maioria dos aspectos

do pH, por Cor (uH), Amônia (mg/L), Nitrato (mg/L), Nitrito (mg/L), Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Alcalinidade (mg/L), Cloretos (mg/L) e Dureza (mg/L).

Por outro lado, inspire-se não conformidade em Turbidez (NTU) acima do esperado e Fósforo (mg/L) nas amostras dos pontos 3 e 5 se mostrou acima do limite. Os resultados das análises realizadas nos meses de setembro de 2023 e abril de 2024 mostram que a maioria dos parâmetros avaliados está nos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 para água potável. O pH ficou na faixa aceitável, variando de 6,51 a 9,35, enquanto os níveis de amônia, nitrato, nitrito e cloretos também ficaram abaixo dos valores máximos permitidos, removendo a ausência de contaminação significativa.

A condutividade elétrica registrou valores que indicam baixa salinidade em ambos os períodos, variando de 80,12 a 121,03 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No entanto, o parâmetro de turbidez apresentou valores acima do limite de 1 NTU para água tratada, com variações de 7,15 a 15,68 NTU, destacando a presença de partículas em suspensão que podem comprometer a eficiência do tratamento e a qualidade visual da água.

Tabela 12 - Qualidade de Água - setembro 2023 - Sousa

Amostra	pH	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Fósforo (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Condutividade (µS/cm)	Alcalinidade (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Dureza (mg/L)
1	6,51	6,15	11	0,004	0,17	5	0,2	80,12	35,41	4,11	41,11
2	7,45	6,1	12,17	0,026	0,15	4,05	0,26	88,62	37,18	4,69	42
3	9,16	7,25	14,16	0,02	0,2	4,17	0,22	100	57,015	5,81	49,42
4	6,68	5,69	10,64	0,003	0,2	5,08	0,26	100	57,11	5,84	48
5	8,13	6,9	7,15	0,0035	0,19	5,79	0,38	121,03	76,51	7,06	55,26
6	6,75	6,42	10,25	0,002	0,19	4	0,2	81,28	50,46	5,02	41,11
7	9	7	10,25	0,002	0,2	3,99	0,2	100	66,36	6,5	39,94
8	9,35	7,17	11,35	0,011	0,2	5	0,21	80,62	34,5	4,95	23,6
9	9	7,54	11,78	0,022	0,19	6,69	0,38	112,62	60,89	6,86	50
10	8	6,6	10	0,02	0,15	5	0,38	101	60,6	7	52,68
Média	8,1	6,8	10,8	0,0	0,2	5,0	0,2	100,0	57,1	5,8	45,0
Variação	6,51 - 9,35	6,1 - 7,54	7,15- 14,16	0,002 - 0,02	0,15 - 0,2	4,00 - 6,69	0,2 - 0,38	80,12 - 121,03	34,5 - 76,51	4,11 - 7,06	39,94 -55,26

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Tabela 13 - Qualidade de Água - abril 2024 - Sousa

Amostra	pH	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Fósforo (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Condutividade (µS/cm)	Alcalinidade (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Dureza (mg/L)
1	7,68	7,72	13,46	0,02	0,26	5,05	0,26	82	36,05	5,5	43,04
2	8,42	7,1	12,68	0,03	0,2	4,76	0,2	86,25	37,78	5,05	44,05
3	9,8	8,05	14,1	0,1	0,18	4	0,3	99,42	55,9	6	50,1
4	8	8	14,72	0,02	0,2	3,93	0,3	100	58	4,94	50,25
5	9,1	7,69	12,94	0,18	0,16	3,51	0,27	102,27	80,35	6,84	55,59
6	7,29	8,5	14,5	0,01	0,3	4,17	0,3	80	49,85	7,17	45,94
7	9,29	7	12,53	0,2	0,2	3,5	0,25	86,67	65,8	6,9	41,62
8	8	6,81	12	0,01	0,2	2,92	0,2	80	41,38	7	41,05
9	7,76	8,61	15,68	0,01	0,31	4,2	0,3	105,82	55,39	7,3	58,46
10	9,35	8,33	15,57	0,1	0,3	4	0,3	100	62,49	7	55,5
Média	8,21	7,86	13,78	0,025	0,2	4	0,285	93,045	55,645	6,87	48,02
Variação	8 - 9,35	7 - 8,61	12 - 15,68	0,01 - 0,2	0,02 - 0,18	2,92- 5,05	0,2 - 0,3	80 - 105,82	36,05 - 80,35	5,05 - 7,3	41,05-58,46

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Tabela 14 - Principais resultados da Qualidade da Água - Sousa

Parâmetro	Faixa Observada	Limite Máximo Permitido (LMP)	Situação
pH	6,51 - 9,35	6,0 - 9,5	Conforme
Cor (uH)	6,1 - 8,61	15 Uh	Conforme
Turbidez (NTU)	7,15 - 15,68	5 NTU	Não
			Conforme
Fósforo (mg/L)	0,002 - 0,2	0,1 mg/L	Não
			Conforme
Amônia (mg/L)	0,15 - 0,3	1,5 mg/L	Conforme
Nitrato (mg/L)	2,92 - 6,69	10 mg/L	Conforme
Nitrito (mg/L)	0,2 - 0,38	1,0 mg/L	Conforme
Condutividade (µS/cm)	80 - 121,03	1500 µS/cm	Conforme
Alcalinidade (mg/L)	34,5 - 80,35	200 mg/L	Conforme
Cloretos (mg/L)	4,11 - 7,3	250 mg/L	Conforme
Dureza (mg/L)	39,94 - 58,46	500 mg/L	Conforme

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

De modo geral, os resultados demonstram conformidade com a maioria dos parâmetros de potabilidade, mas o elevado nível de turbidez em ambas as amostragens indica a necessidade de melhorias no processo de tratamento para garantir a segurança e a qualidade da água consumida. Esses resultados sugerem a necessidade de instruções específicas para controlar as configurações fora do padrão, especialmente em relação à turbidez e fósforo, enquanto os demais aspectos da água permanecem em boas condições.

Posteriormente apresenta-se a tabela 15 que apresenta os parâmetros estatísticos das amostras analisadas em setembro de 2023 para o Assentamento Imaculada localizada na cidade de Sousa-PB. Os valores apresentados incluem a mediana, média, menor e maior valor, além dos primeiros e terceiros quartis (Q1 e Q3).

Tabela 15 - Parâmetros de qualidade de água e parâmetros estatísticos (setembro 2023)

Parâmetros de qualidade	Mediana	Média	Menor	Maior	1º quartil	3º quartil
pH	8,00	8	6,47	9,50	6,80	9,00
Cor (uH)	6,70	6,68	5,50	7,58	6,28	7,03

Turbidez (NTU)	11,00	10,88	13,00	14,33	10,32	11,85
Fósforo (mg/L)	0,0040	0,0114	0,0020	0,0280	0,0028	0,0200
Amônia (mg/L)	0,200	0,186	0,150	0,200	0,178	0,200
Nitrato (mg/L)	5,00	4,88	3,98	6,76	4,00	5,05
Nitrito (mg/L)	0,24	0,26	0,20	0,40	0,20	0,30
Condutividade (µS/cm)	100,00	96,53	80,00	121,06	82,18	101,00
Alcalinidade (mg/L)	57,07	53,61	33,00	77,35	38,18	60,97
Cloretos (mg/L)	5,84	5,79	4,00	7,22	4,95	6,84
Dureza (mg/L)	45,29	44,32	40,63	55,35	41,17	50,00

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Os resultados dos parâmetros de qualidade da água mostram que o pH apresenta valores médios e medianos de 8,00, com uma variação entre 6,47 e 9,50, estando dentro do limite permitido pela Resolução GM/MS Nº 888/2021 (6,0 a 9,5). A cor da água também está em conformidade, com média de 6,68 uH e mediana de 6,70 uH, variando entre 5,50 e 7,58 uH, bem abaixo do limite de 15 uH. Já a turbidez, com média de 10,88 NTU e mediana de 11,00 NTU, ultrapassa o limite permitido de 5 NTU, indicando necessidade de melhoria no tratamento da água, especialmente considerando que os valores variam entre 13,00 e 14,33 NTU.

O fósforo, embora não tenha limite específico na resolução, apresenta valores baixos, com média de 0,0114 mg/L e mediana de 0,0040 mg/L, indicando baixa presença de poluentes relacionados. A amônia permanece dentro do limite de 1,5 mg/L, com média de 0,186 mg/L e mediana de 0,200 mg/L, variando entre 0,150 e 0,200 mg/L. O nitrato, com valores médios de 4,88 mg/L e mediana de 5,00 mg/L, está bem abaixo do limite de 50 mg/L, variando entre 3,98 e 6,76 mg/L. O nitrito, cuja média é de 0,26 mg/L e mediana de 0,24 mg/L, também se mantém dentro do limite permitido de 1,0 mg/L.

A condutividade apresenta valores médios de 96,53 µS/cm e mediana de 100,00 µS/cm, variando entre 80,00 e 121,06 µS/cm, o que é típico para águas potáveis. A alcalinidade, com média de 53,61 mg/L e mediana de 57,07 mg/L, varia entre 33,00 e 77,35 mg/L, mantendo-se em níveis adequados. Os cloretos, cuja média é de 5,79 mg/L e mediana de 5,84 mg/L, estão muito abaixo do limite permitido de 250 mg/L, com variação entre 4,00 e 7,22 mg/L. Por fim, a dureza, com média de 44,32 mg/L e mediana de 45,29 mg/L, variando entre 40,63 e 55,35 mg/L, encontra-se dentro dos níveis recomendados para evitar corrosividade ou incrustações. Em geral, a

maioria dos parâmetros está em conformidade com a legislação, exceto pela turbidez, que necessita de atenção para atingir os padrões de potabilidade

Na Tabela 16, observa-se os valores dos parâmetros de qualidade de água também para o Assentamento Imaculada, porém, em outro período, com as análises no mês de abril de 2024. Assim, calculou-se a partir dos resultados obtidos nos ensaios dos parâmetros de qualidade de água os índices de mediana, média, menor e maior valor, 1º e 3º quartil, para referida localidade.

Tabela 16 - Parâmetros de qualidade de água e parâmetros estatísticos (abril 2024)

Parâmetros de qualidade	Mediana	Média	Menor	Maior	1º quartil	3º quartil
pH	8,18	8,47	7,15	9,80	7,87	9,22
Cor (uH)	7,90	7,78	6,74	8,66	7,15	8,32
Turbidez (NTU)	13,75	13,82	12,00	15,86	12,79	14,70
Fósforo (mg/L)	0,0250	0,0680	0,0100	0,0200	0,0100	0,0100
Amônia (mg/L)	0,200	0,232	0,150	0,320	0,200	0,300
Nitrato (mg/L)	4,00	4,01	2,87	5,10	3,55	4,21
Nitrito (mg/L)	0,30	0,27	0,20	0,31	0,24	0,30
Condutividade (µS/cm)	93,18	92,25	80,00	106,00	82,00	100,00
Alcalinidade (mg/L)	55,70	54,30	36,00	80,50	41,47	62,45
Cloretos (mg/L)	6,85	6,37	4,89	7,32	5,50	7,00
Dureza (mg/L)	48,10	48,56	40,00	58,36	43,24	55,50

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Os resultados dos parâmetros de qualidade da água destacam informações essenciais para avaliar a potabilidade e segurança da água. O pH, com mediana de 8,18 e variação entre 7,15 e 9,80, está dentro do limite permitido (6,0 a 9,5), garantindo que a água não seja corrosiva nem favoreça incrustações, além de ser adequada para processos químicos no tratamento. A cor, com mediana de 7,90 e variação entre 6,74 e 8,66 uH, encontra-se bem abaixo do limite máximo de 15 uH, indicando boa qualidade visual da água, sem sinais significativos de contaminação orgânica ou inorgânica dissolvida.

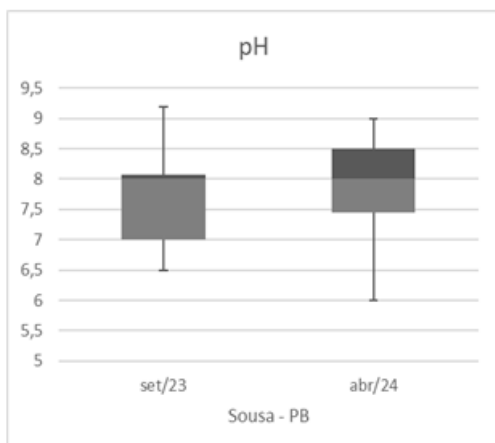
A turbidez, com mediana de 13,75 NTU e variação de 12,00 a 15,86 NTU, excede o limite de 5 NTU estabelecido para potabilidade, sugerindo necessidade de melhoria no tratamento para remover partículas em suspensão. O fósforo, com

mediana de 0,025 mg/L, não possui um limite específico definido pela Resolução GM/MS Nº 888/2021, mas seus valores baixos indicam ausência de poluição relevante. A amônia, com mediana de 0,200 mg/L e variação entre 0,150 e 0,320 mg/L, está muito abaixo do limite máximo de 1,5 mg/L, demonstrando baixa presença de poluentes nitrogenados.

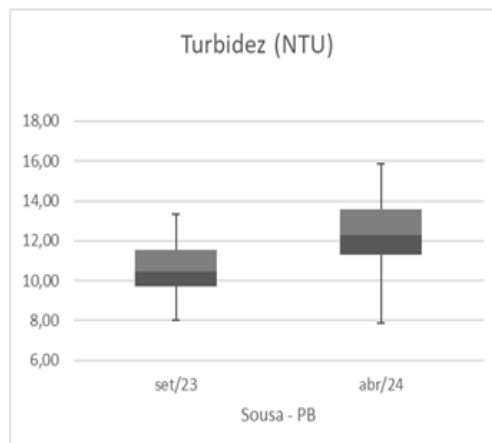
O nitrato, com mediana de 4,00 mg/L e variação de 2,87 a 5,10 mg/L, encontra-se bem abaixo do limite permitido de 50 mg/L, o que é positivo, assim como o nitrito, com mediana de 0,30 mg/L e valores entre 0,20 e 0,31 mg/L, dentro do limite de 1,0 mg/L, indicando que a água não apresenta risco elevado de contaminação por poluentes orgânicos.

A condutividade, com mediana de 93,18 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e variação entre 80,00 e 106,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, é típica para águas potáveis e reflete baixa concentração de sais dissolvidos. A alcalinidade, com mediana de 55,70 mg/L e variação de 36,00 a 80,50 mg/L, está em níveis adequados para neutralizar ácidos e manter o equilíbrio químico da água. Os cloretos, com mediana de 6,85 mg/L e variação entre 4,89 e 7,32 mg/L, encontram-se muito abaixo do limite permitido de 250 mg/L, indicando ausência de contaminação por cloretos em excesso. Por fim, a dureza, com mediana de 48,10 mg/L e variação entre 40,00 e 58,36 mg/L, está em níveis ideais para evitar corrosividade e incrustações.

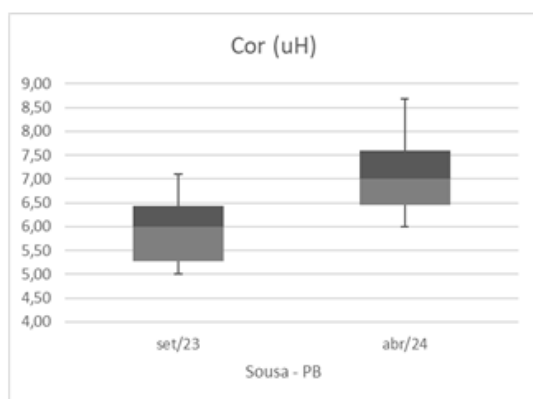
Esses resultados apontam que, apesar de a maioria dos parâmetros estarem em conformidade com os padrões de potabilidade, a turbidez exige atenção especial para garantir que a água atenda plenamente aos critérios da Resolução GM/MS Nº 888/2021. Os gráficos representados nas figuras 46 a 54 representam o boxplot dos níveis de potabilidade das águas para o município de Sousa, em duas variações de tempo, nos períodos de setembro de 2023 e abril de 2024.

Figura 46 - PH

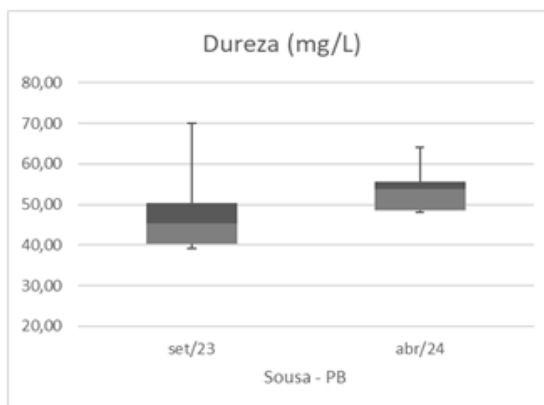
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 47 - Turbidez

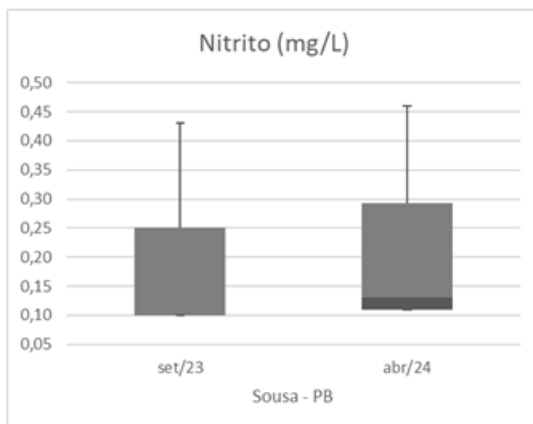
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 48 - Cor

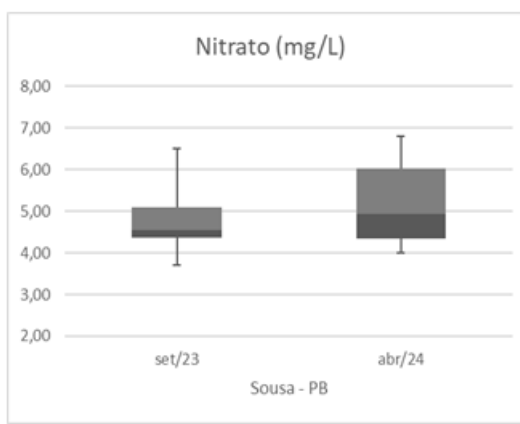
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 49 - Dureza

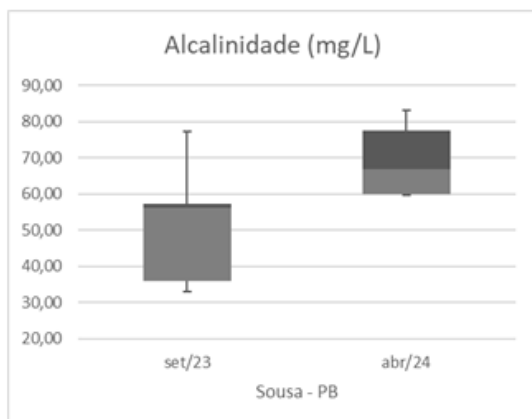
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 50 - Nitrito

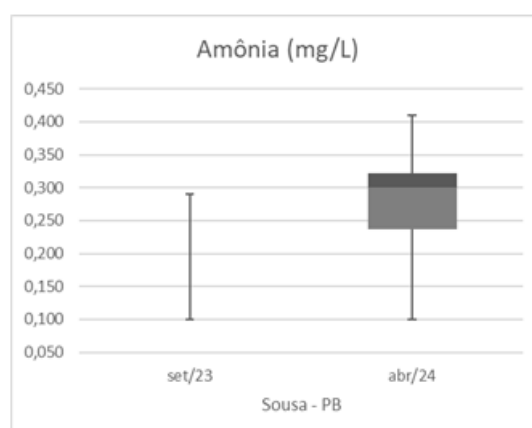
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 51 - Nitrato

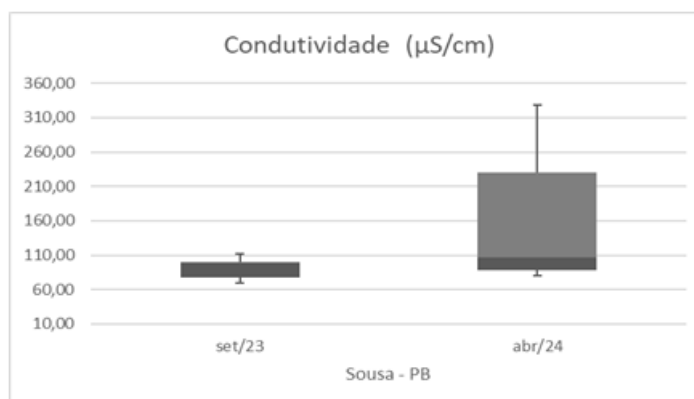
Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 52 - Alcalinidade

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 53 - Amônia

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Figura 54 - Condutividade

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Entre os dados, notam-se aumentos nos valores de parâmetros como pH, cor, turbidez, fósforo, amônia, cloretos e dureza, sugerindo mudanças na qualidade da água, possivelmente devido a variações climáticas, uso do solo ou alterações nos processos de tratamento. No entanto, reduções em nitrato, nitrito e condutividade indicam melhorias em certos aspectos. A turbidez continua elevada, sendo uma preocupação recorrente.

O pH apresentou que os valores médios de pH estão na faixa permitida, variando entre 7 e 8, tanto em setembro de 2023 quanto em abril de 2024. Não há *outliers* detectáveis, mantendo estabilidade nas condições de acidez e alcalinidade. O sistema aparente está em conformidade com os padrões.

A Turbidez em ambos os períodos (setembro/2023 e abril/2024) apresentaram médias superiores ao limite permitido (próximas de 10-16 NTU). Isso indica não

conformidade com a portaria e sugere excesso de partículas suspensas na água. *Outliers* superiores (próximos de 16 NTU) podem estar relacionados a eventos climáticos (chuvas) ou falhas no tratamento. Esses valores bloqueiam a atenção imediata para evitar prejuízos à potabilidade.

A concentração amônia apresentou valores médios superiores, próximos de 0,35 mg/L em abril/2024. Isso pode indicar contaminação por matéria orgânica ou falhas no processo de nitrificação. Apesar de não haver um limite definido, os valores elevados exigem a especificidade e precisam ser monitorados. Os *outliers* inferiores observados em setembro/2023 são menos preocupantes.

Consoante ao Nitrito os valores médios variaram entre 0,25 e 0,35 mg/L, abaixo do limite permitido pela portaria. Apesar disso, os valores discrepantes superiores a 0,5 mg/L merecem atenção, pois níveis elevados podem ser tóxicos e sugerem perda de matéria orgânica ou contaminação por esgoto. Esses pontos devem ser investigados mais profundamente.

Nitrato possui um limite previsto máximo de 10 mg/L. A faixa moderada de valores, indica variação na possível contaminação por resíduos. Valores elevados podem indicar contaminação por fertilizantes ou esgoto, sendo especialmente perigosos para bebês, devido ao risco de metemoglobinemia. *Outliers* representam um risco sanitário significativo, contudo, os dados do estudo não apresentaram estes riscos. A mediana está em torno de 10 mg/L, com uma faixa interquartil moderada e alguns *outliers* acima de 20 mg/L. Os altos valores de nitrato podem ser prejudiciais, especialmente para água potável.

Para a alcalinidade o gráfico mostra uma ampla faixa de valores, com alguns picos muito mais altos. Uma alcalinidade variável pode indicar diferenças na capacidade da água de neutralizar ácidos, o que pode ser importante para a estabilidade do pH. A mediana está em torno de 100 mg/L, com uma faixa interquartil ampla, sugerindo variabilidade significativa. Há *outliers* acima de 200 mg/L.

Dureza (Gráfico 18) também varia consideravelmente, com uma ampla faixa de valores. Água com diferentes níveis de dureza pode ter diferentes efeitos na utilização doméstica e industrial, como em equipamentos e encanamentos. A mediana está em torno de 150 mg/L, com uma faixa interquartil ampla e *outliers* acima de 300 mg/L. *Outliers* elevados podem ser causados por concentrações excessivas de cálcio e magnésio, afetando tubulações e equipamentos.

A variação na cor é moderada, com a maioria dos valores agrupados. A cor pode indicar presença de compostos orgânicos e minerais, e valores consistentes indicam uma água visualmente clara, sem grandes variações de contaminação orgânica. A mediana é baixa, com a maioria dos valores concentrados abaixo de 50 uH. Existem alguns *outliers* significativos acima de 100 uH.

O fósforo mostra uma baixa concentração, com pouca variação entre as amostras. Isso sugere pouca influência de poluição agrícola ou de esgoto, já que o fósforo é um nutriente frequentemente associado a essas fontes. A mediana é baixa, próxima de 0 mg/L, com poucos *outliers* acima de 0,1 mg/L, não houve mudança nos valores plotados, manteve-se igual com o passar dos meses. *Outliers* podem indicar intrusão salina ou descargas industriais. A presença de picos deve ser comprovada com base no histórico local.

A condutividade mostra uma ampla faixa de valores, indicando variação significativa nos íons dissolvidos. Isso sugere diferenças na mineralização ou possíveis influências de fontes de poluição. A mediana está em torno de 500 uS/cm, com uma faixa interquartil ampla e *outliers* acima de 1000 uS/cm.

Os valores de cloretos apresentam uma variação considerável, com alguns valores extremos, o que pode estar relacionado a diferentes fontes de salinidade ou contaminação por atividades humanas. A mediana está em torno de 50 mg/L, com uma faixa interquartil moderada e alguns *outliers* acima de 100 mg/L. Os valores acima do limite comprometem o sabor da água e podem ser corrosivos. *Outliers* apontam para possíveis fontes de contaminação, como intrusão de água salina ou despejos industriais.

Os gráficos reforçam que ocorreu maior variabilidade de parâmetros como amônia, Nitrato, Dureza e Condutividade nas águas de cisternas em relação ao mês de setembro de 23 e abril de 24, mostrando que no período chuvoso há uma diferença na composição da água. Também foi observado que ocorreram *outliers*, ou seja, um desvio significativamente da tendência geral de um conjunto de dados nos parâmetros, tais como Amônia e condutividade, que mostraram pontos abaixo dos valores mínimos para a água coletada em set de 23.

Já a alcalinidade apresentou valores acima do ponto máximo para o período abril do ano de 2024. Com relação a valores extremo, foi possível observar no parâmetro condutividade no mês de setembro de 2023 e para abril de 2024, acima dos pontos máximos. Contudo, os parâmetros estudados apresentaram resultados

comparativos de média os quais a Hipótese H_0 não é rejeitada, demonstrando que não houve mudanças bruscas entre os valores das medianas referente a qualidade de água coletada entre os períodos.

Ao comparar os parâmetros estatísticos referentes as Tabelas 7 e 8, dos períodos analisados para a comunidade Riacho do Gila localizada em São João do Rio do Peixe-PB, percebe-se que somente a turbidez não se apresentou conforme o padronizado pela Resolução GM/MS Nº 888/2021. Enquanto das amostras analisadas para o Assentamento Imaculada localizada na cidade de Sousa-PB conforme as tabelas 12 e 13, os valores fora dos parâmetros ocorreram entre a turbidez e fosforo. Com efeito, esses resultados apontam que, apesar de a maioria dos parâmetros estarem conforme os padrões de potabilidade exigidos, a turbidez exige atenção especial para garantir que a água atenda plenamente aos critérios da Resolução GM/MS Nº 888/2021, bem como a atenção com os valores do fósforo para Sousa.

Perante os achados na presente pesquisa, o parâmetro da turbidez se mostrou alterado em ambas as regiões de SJRP e Sousa. O resultado foi unânime entre os meses de coleta de setembro de 2023 e abril de 2024, se apresentando acima de 5,0 NTU em todas as 10 cisternas de cada região.

Esse resultado se difere do que foi apresentado por Kalyne *et al.* (2019) ao verificar em seu *checklist*, a identificação de problemas desde a localização das cisternas, passando pela ineficiência no processo de manutenção, apresentado inúmeras manifestações patológicas. Contudo, consoante aos parâmetros físico-químicos, as análises de pH, cor aparente, turbidez, amônia, nitrito e cloro apresentaram-se, em sua maioria, no estabelecido pela Portaria nº 5/2017. Já a análise de nitrato apresentou-se acima do permitido pela Portaria divergindo do presente estudo. Os autores concluíram que o programa possui ineficiência nas capacitações, no processo construtivo e um grande aparecimento de manifestações patológicas, no qual é preciso buscar medidas sobre uso e aperfeiçoamento da execução das cisternas que reduzam estes problemas. Entretanto, ao comparar o presente estudo com o dos autores, compreende-se que a localização das cisternas não foi um problema para favorecer a contaminação, uma vez que o parâmetro de turbidez está na capacidade de dispersar a luz devido às partículas suspensas.

Portanto, conforme abordam Lopes *et al.* (2021), a turbidez da água é uma mensuração da opacidade ou claridade da água, causada pela presença de partículas suspensas como sedimentos, matéria orgânica, microrganismos, produtos químicos

ou outras substâncias insolúveis. Quanto maior a turbidez, mais turva ou opaca a água se apresenta. Sendo um parâmetro fundamental na avaliação da qualidade da água, tanto para o consumo humano quanto para usos recreativos e ambientais. Sanches e Pedro (2023) mencionam que a turbidez não se refere diretamente à cor da água, mas à sua capacidade de dispersar a luz devido às partículas suspensas.

Nesse ínterim, mesmo que seja somente a variável de turbidez a encontrada com alteração em todas as amostras, ela pode comprometer a potabilidade da água, isso porque conforme apresentado pelo Ministério da Saúde (Ministério da Saúde, 2023), a água potável ideal deve ser cristalina, com turbidez extremamente baixa, geralmente abaixo de 1 Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT), segundo os padrões de organismos como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Ministério da Saúde no Brasil. Essa baixa turbidez garante que a água seja visualmente limpa e minimiza a presença de contaminantes como microrganismos patogênicos, que podem aderir às partículas suspensas.

Uma turbidez ideal também assegura maior eficácia nos processos de desinfecção. O estudo de Maroubó (2017), apresentou que dos 7 pontos de amostras de águas subterrâneas coletadas, somente o ponto 6 apresentou uma turbidez alterada, tendo como hipótese que o excesso de turbidez pode estar interligado ao excesso de ferro, contudo, no presente estudo o ferro esteve dentro dos valores de referências preconizado.

No presente estudo o aspecto não ideal da turbidez foi evidenciado acima de 5 UNT, ultrapassando os limites regulamentares para consumo humano, com isso, a água se apresentou visualmente turva podendo conter concentrações perigosas de matéria orgânica, sedimentos, microrganismos e contaminantes químicos. Nery *et al.* (2024) mencionam que isso não apenas compromete a aparência e a aceitação da água pela população, mas também aumenta os riscos à saúde pública. Uma vez que em seus estudos encontraram nas águas com turbidez, microrganismos como bactérias, vírus e protozoários, incluindo patógenos como *Giardia* e *Cryptosporidium*, podendo estar presentes e levar a surtos de doenças como diarreia, febre tifóide e hepatite.

Esses achados são relevantes considerando os grupos especiais como crianças e idosos, que particularmente estão vulneráveis aos efeitos de água turva, ao terem sistemas imunológicos mais frágeis. A ingestão de água com alta turbidez pode aumentar a incidência de doenças gastrointestinais e até levar à desnutrição por

diarreia prolongada (Braga, 2024; Dantas, 2013; Machado *et al.*, 2021; Nery *et al.*, 2024; Nunes; Silva, 2020).

As gestantes estão mais suscetíveis a infecções que podem comprometer a saúde fetal, caso consumam água inadequadamente tratada. Contudo, conforme retrata Luna (2011) as populações de áreas rurais, muitas vezes dependem de fontes de água sem tratamento adequado, onde a turbidez elevada pode ser comum, expondo essas comunidades a riscos de saúde.

Além disso, Poisson (2020) sugere que as altas taxas de turbidez podem dificultar os processos de tratamento, como filtração e desinfecção, reduzindo sua eficiência e aumentando os custos. Tendo forte ligação com o PH uma vez que performance do coagulante na remoção de turbidez pode não ser sensível a variações no pH.

Logo, estudos atuais (Ferreira *et al.*, 2016; Leal, 2015; Lopes *et al.*, 2021; 2020; Nery *et al.*, 2024; Nunes; Silva, 2020; Sanches; Pedro, 2023) mencionam as medidas para manter a turbidez em níveis ideais e proteção de nascentes e corpos d'água, evitando desmatamento próximo a rios e lagos para reduzir a erosão do solo e o assoreamento a implantação de barreiras vegetativas ou sistemas de drenagem sustentável para controlar o escoamento de sedimentos (Pinheiro *et al.*, 2023). O tratamento adequado da água pela decantação para a remoção das partículas mais pesadas. A utilização de filtros de areia ou de membranas para reter partículas finas.

A coagulação e floculação com a adição de produtos químicos (como sulfato de alumínio) para aglutinar partículas e facilitar sua remoção foi bem reportado por Silva *et al.* (2020), considerando que após a redução da turbidez, a água deve ser clorada ou tratada com outros métodos para eliminar microrganismos.

Logo, Silva *et al.* (2020) mencionam que os programas de cisternas devem realizar programas de educação sanitária para a população contemplada com as cisternas, pois, o monitoramento da água para consumo deve ser constante, contemplando análises periódicas da qualidade da água para identificar alterações na turbidez e implementar medidas corretivas rapidamente.

A educação ambiental também pode sensibilizar as comunidades sobre a importância de preservar mananciais e não descartar resíduos nos corpos d'água (ASA, 2022). Ademais a infraestrutura de saneamento básico deve implementar redes de esgoto e sistemas de drenagem eficientes para reduzir o impacto de resíduos humanos e industriais na turbidez dos rios e lagos (Luna, 2011).

Infere-se perante os achados, que manter a turbidez da água em níveis ideais não é apenas uma questão estética, mas uma prioridade para garantir a saúde e o bem-estar de todas as populações. O investimento em infraestrutura, políticas públicas eficazes e conscientização ambiental são passos fundamentais para alcançar esse objetivo.

Em consonância ao resultado comentado, no Município de Sousa-PB, encontrou-se a alteração do fósforo nos pontos 2, 5 e 10 coletados no mês de setembro de 2023. Contudo, mesmo sendo um nutriente essencial, ele deve se manter naturalmente em pequenas quantidades, sendo fundamental para o crescimento de organismos aquáticos (Silva *et al.*, 2020).

Ele está presente na água principalmente na forma de fosfatos, que podem ser de origem natural (erosão de rochas e decomposição de matéria orgânica) ou resultantes de atividades humanas, como a utilização de fertilizantes agrícolas, esgoto doméstico e industrial, e detergentes (Danelon; Netto; Rodrigues, 2012). Embora o fósforo seja vital para a vida, seu excesso pode causar sérios problemas ambientais e de saúde pública.

Danelon, Netto e Rodrigues (2012) destacam que o fósforo pode ser encontrado em diferentes formas nos corpos d'água, sendo as mais comuns ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. Na natureza, é formado pela dissolução dos solos e decomposição de matéria orgânica e pode ser causado pelo uso de fertilizantes, resíduos domésticos e industriais, detergentes e excrementos animais. Seu excesso em um curso d'água pode favorecer o crescimento acelerado de algas, causando a eutrofização do curso d'água. Apesar de não causar danos diretos à saúde humana, altos níveis de fósforo podem indicar fontes de poluição, como os já citados despejos domésticos e industriais.

Em corpos hídricos saudáveis, o nível de fósforo é muito baixo, geralmente inferior a 0,03 mg/L em águas superficiais, segundo diretrizes de qualidade da água (Costa, 2020). Esses valores limitados são suficientes para sustentar os ecossistemas aquáticos sem causar desequilíbrios, sendo encontrados no presente estudo na maioria dos pontos investigados conforme os padrões estipulados. Costa (2020) ao realizar investigações sobre os parâmetros de qualidade de água de reservatórios ou lagos destinados ao consumo humano, destaca que a presença controlada de fósforo é crucial para a prevenção de problemas como a proliferação excessiva de algas.

Entretanto, Souza *et al.* (2014) ao realizarem um estudo para avaliar a qualidade da água do rio Almada (Sul da Bahia), considerando suas variações temporais e espaciais, bem como identificar seus usos múltiplos e seu enquadramento com o estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, destacaram que quando o fósforo está presente em concentrações excessivas, ele pode desencadear um fenômeno chamado eutrofização, caracterizado pelo crescimento exagerado de algas e plantas aquáticas. Isso pode resultar em "flores" de algas tóxicas que comprometem a qualidade da água, reduzem a oxigenação, afetam a vida aquática e dificultam o tratamento da água para consumo humano. A decomposição da biomassa gerada por esse excesso de algas consome oxigênio, provocando zonas hipóxicas (baixo oxigênio), que podem levar à morte de peixes e outros organismos aquáticos. Contudo, o estudo supracitado encontrou o valor do fósforo muito acima, devido os dejetos de animais como o couro e restos de animais do matadouro, encontrados em P4 (Itajuípe) e, em menor proporção, os fertilizantes usados em trechos da bacia nas atividades agropastoris dos núcleos urbanos onde se localizam.

Essas ações no contexto da saúde humana são maléficas, contendo cianobactérias, que produzem toxinas perigosas para pessoas e animais. O consumo dessa água ou a exposição durante atividades recreativas pode causar problemas gastrointestinais, hepáticos e neurológicos (ASA, 2022). Esses impactos são especialmente prejudiciais para crianças, gestantes, idosos e populações que dependem diretamente de fontes hídricas locais.

Conforme os dados encontrados no presente estudo, o excesso de fósforo na água tem implicações diretas e indiretas para sua potabilidade, pois concentrações elevadas desse nutriente podem comprometer a qualidade da água, tornando-a inadequada para o consumo humano (Ministério da Saúde, 2023).

Os principais aspectos que explicam como o fósforo afeta a potabilidade está na proliferação de algas e cianobactérias (ASA, 2022; Braga, 2024; Danelon; Netto; Rodrigues, 2012; Ministério da Saúde, 2023; Nunes; Silva, 2020), especialmente na forma de fosfato, atua como um fertilizante para o crescimento de algas e cianobactérias em corpos d'água. Quando presente em excesso, geralmente devido a poluição agrícola, esgotos não tratados ou resíduos industriais, ocorre o fenômeno da eutrofização, caracterizado pela proliferação descontrolada desses organismos. Esse crescimento excessivo afeta a potabilidade da água de várias formas.

As alterações no sabor, odor e aparência conforme aborda a ONU (2024) devido a presença de algas é uma preocupação mundial com as águas naturais. Essas alterações refletem no sabor da água com gosto e cheiro desagradáveis, além de uma coloração verde ou turva. Para além da água de reservatórios como as cisternas que abastecem a água da chuva, objeto do presente estudo, a poluição por fósforo é um dos principais motores da perda de biodiversidade, uma vez que contribui para a degradação dos ecossistemas dos quais a humanidade depende.

Nesse íterim, Quevedo e Paganini (2018), realizaram um estudo baseado na interface social e ambiental da presença de fósforo nas águas de abastecimento, dimensionando os impactos ocasionados pelo uso de detergentes fosfatados em pó sobre a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, no tocante à ocorrência da eutrofização. Os autores alertaram que algumas cianobactérias liberam toxinas, como as microcistinas, extremamente prejudiciais à saúde humana. Logo, apontaram que a ingestão de água contaminada com essas toxinas pode causar problemas gastrointestinais, hepáticos e neurológicos, sendo este um problema de saúde pública que exige a intervenção de políticas públicas relacionadas com a educação ambiental. Somente um processo efetivo de comunicação e educação, será possível conscientizar a população acerca do assunto, contribuindo para a manutenção do controle dessa importante fonte de fósforo no meio ambiente e para o aumento da disponibilidade hídrica, por meio da prevenção dos processos de eutrofização. Tal qual, deve ter na legislação brasileira para o ajuste dos parâmetros de fósforo pelas indústrias de detergentes em pó.

Partindo desse ponto legislativo e educativo, a água com altos níveis de fósforo e, conseqüentemente, com alta carga orgânica (algas e biomassa), apresenta desafios adicionais para as estações de tratamento, um deles está na necessidade de maior uso de produtos químicos (Klein; Agne, 2012). Nesse sentido, há uma necessidade da utilização de maiores quantidades de coagulantes e desinfetantes, como cloro, para remover a matéria orgânica e controlar os microrganismos (Silva *et al.*, 2020). Isso eleva os custos operacionais e pode gerar subprodutos tóxicos, como Trihalometanos.

Ademais do desafio mencionado, a presença de biomassa algal pode obstruir sistemas de filtração, reduzindo a eficiência do tratamento. Tendo ainda a possível decomposição da matéria orgânica gerada pelo excesso de algas, consumindo o oxigênio dissolvido na água, resultando em condições anaeróbicas (Moraes *et al.*,

2020). Nessas condições, compostos como sulfetos e amônia podem ser liberados, causando mau cheiro e elevando a toxicidade da água.

No caso de águas superficiais utilizadas para o abastecimento público, como lagos e rios, estes são especialmente vulneráveis aos efeitos do fósforo. Quando os níveis deste elemento são elevados, as companhias de tratamento enfrentam dificuldades para garantir que a água tratada esteja dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos por normas nacionais e internacionais (ONU, 2024).

A educação ambiental requer a promoção das práticas agrícolas sustentáveis, como o uso controlado de fertilizantes e a substituição por alternativas orgânicas, para evitar o escoamento de fósforo para os corpos d'água (Silva *et al.*, 2020). Implantar barreiras vegetativas e zonas de amortecimento ao redor de rios e lagos para filtrar o fósforo presente no escoamento superficial é uma das opções que podem ser adotadas.

Conquanto, seguindo o que mencionam Quevedo e Paganini (2018) se faz essencial o incentivo dos poderes públicos em meio a educação ambiental acerca do uso de detergentes e produtos de limpeza com baixo teor de fósforo. Sensibilizar populações urbanas e rurais sobre os impactos do fósforo na água e a importância de práticas que minimizem sua entrada nos ecossistemas aquáticos é um desafio, contudo, fundamental para manter o nível ótimo do fósforo nos reservatórios.

Assim como o monitoramento da turbidez, é essencial realizar análises regulares dos níveis de fósforo em corpos d'água, especialmente em regiões vulneráveis à poluição agrícola ou industrial (Paula *et al.*, 2015). Implementar projetos de recuperação de áreas degradadas, como o reflorestamento de margens de rios e lagos, para reduzir a entrada de nutrientes é também uma ação promissora.

De modo geral os achados no presente estudo, junto ao que é exposto na literatura, há diversas medidas desafiadoras para o controle e combate do excesso de fósforo na água sendo eles listados:

- Realizar análises frequentes da qualidade da água para identificar rapidamente aumentos nos níveis de fósforo.
- Implantar tecnologias avançadas, como adsorção com carvão ativado e ozonização, para lidar com toxinas produzidas por algas.
- Conscientizar comunidades e implementar legislações que proíbam ou reduzam o uso de produtos contendo fósforo.

Em resumo, níveis elevados de fósforo na água afetam negativamente sua potabilidade, promovendo condições que dificultam o tratamento e potencializam riscos à saúde humana. O controle desse nutriente é essencial para garantir a segurança e a qualidade da água destinada ao consumo.

A água com excesso de fósforo e alta turbidez estão frequentemente interligadas, assim como ocorreu nos achados do presente estudo, considerando a região de Sousa-PB, pois ambas as condições refletem problemas de qualidade da água causados por poluição e má gestão ambiental (Souza *et al.*, 2014). O fósforo em excesso, especialmente na forma de fosfatos, atua como um fertilizante para o crescimento de algas e cianobactérias, desencadeando o processo de eutrofização. Essa proliferação exagerada de organismos microscópicos aumenta a turbidez da água, tornando-a visualmente turva e opaca devido à presença de partículas orgânicas em suspensão (Danelon; Netto; Rodrigues, 2012).

Além disso, o excesso de fósforo favorece a formação de "flores" de algas na superfície de corpos d'água, criando uma camada que bloqueia a entrada de luz solar. Isso prejudica a fotossíntese de plantas submersas e promove o acúmulo de matéria orgânica em decomposição (ONU, 2024). Quando essa matéria orgânica começa a se decompor, ocorre um consumo elevado de oxigênio na água, o que pode resultar na formação de zonas hipóxicas ou anóxicas. Essas condições agravam ainda mais a turbidez, já que a atividade bacteriana e a liberação de partículas finas aumentam (Silva *et al.*, 2020).

A turbidez elevada causada pelo excesso de fósforo também compromete o tratamento da água para consumo humano. As partículas em suspensão e a biomassa algal dificultam processos como a filtração e desinfecção, aumentando os custos operacionais e o uso de produtos químicos, como coagulantes e cloro (Braga, 2024). Isso pode gerar subprodutos prejudiciais, como trihalometanos, que representam riscos à saúde.

Essa combinação de fósforo em excesso e turbidez elevada impacta diretamente a potabilidade da água, alterando seu sabor, odor e aparência, além de representar riscos para a saúde pública (Santana; Arsky, 2016). A ingestão de água contaminada por toxinas produzidas por cianobactérias, que frequentemente proliferam em ambientes com altos níveis de fósforo, pode causar doenças hepáticas, gastrointestinais e neurológicas (Moraes *et al.*, 2020). Assim, a conexão entre fósforo

e turbidez reflete um ciclo de degradação ambiental que exige intervenções para reduzir a poluição, melhorar o tratamento de água e proteger a saúde dos ecossistemas e das populações humanas.

4.3 Análise bacteriológica

Conforme descrito na metodologia do referido trabalho, foi aplicado o teste COLILERT para a determinação e averiguação da presença de *Escherichia coli* (*E. coli*) nas amostras de água. Mediante as análises dos resultados obtidos, constatou-se presença em todas as amostras de 100 ml que foram analisadas, em ambos os períodos estudados. Isso indica que as amostras estavam contaminadas por esta bactéria, sugerindo que a água não é adequada para consumo humano, uma vez que a presença de *E. coli* é um indicador de contaminação fecal e risco à saúde. Esses resultados reforçam a necessidade de monitoramento constante da qualidade da água para garantir a segurança e a potabilidade. A tabela 17 apresenta os resultados obtidos para a referida análise.

Ao comparar ambos resultados, percebe-se que para as duas comunidades a presença efetivou-se no mês de abril, sendo notório que os valores apresentam uma considerada concentração de presença de *E. Coli*.

Tabela 17 - Presença de *E. Coli* no mês de setembro de 2023, Riacho do Gila

Setembro	Quantitativo de indicadores	Valor provável em 100 ml	menor valor	maior valor
1	4	4,2	1,7	10,7
2	4	4,2	1,7	10,7
3	5	5,3	2,3	12,3
4	7	7,5	3,7	15,5
5	6	6,4	3	13,9
6	3	3,1	1,1	9
7	3	3,1	1,1	9
8	3	3,1	1,1	9
9	5	5,3	2,3	12,3
10	8	8,7	4,5	17,1

Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Os dados desta tabela 17 demonstram uma variação nos valores de *E. coli* nas amostras coletadas no Riacho do Gila durante setembro de 2023. O número de indicadores variou de 3 a 8, com os valores prováveis oscilando entre 3,1 e 8,7 em 100 ml. Os valores máximos e mínimos registrados destacam uma amplitude

significativa de contaminação, indicando a presença de fontes diversas e contínuas de contaminação fecal.

Tabela 18- Presença de *E. Coli* no mês de abril de 2024, Riacho do Gila

Abril	Quantitativo de indicadores	Valor provável em 100 ml	menor valor	maior valor
1	10	11,1	6,1	20,5
2	11	12,4	7	22,1
3	8	8,7	4,7	17,1
4	8	8,7	4,7	17,1
5	7	7,5	3,7	15,5
6	6	6,4	3	13,9
7	9	9,9	5,3	18,8
8	10	11,1	6,1	20,5
9	10	11,1	6,1	20,5
10	10	11,1	6,1	20,5

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Em abril de 2024 conforme a tabela 18, a contaminação por *E. coli* foi ainda mais evidente, com indicadores variando de 6 a 11, e valores prováveis entre 6,4 e 12,4 em 100 ml. Comparado a setembro de 2023, percebe-se um aumento expressivo, possivelmente relacionado às condições climáticas e às atividades agrícolas, que podem intensificar a carga de contaminação no período chuvoso. Este aumento reforça a necessidade de monitoramento sazonal.

Os resultados de abril de 2024 são consistentemente mais elevados do que os de setembro de 2023. Esse padrão pode ser associado a fatores como maior fluxo de escoamento superficial durante as chuvas, transporte de dejetos para o riacho, e maior atividade agrícola ou pecuária nas proximidades durante esse período. A relação entre sazonalidade e níveis de contaminação é um ponto importante que deve ser explorado em estudos futuros.

A comunidade Assentamento Imaculada apresentou valores mais significativos consoante a tabela 19. Destaca-se que conforme visitas *in loco*, percebeu-se uma maior presença de animais nas proximidades das cisternas, assim como, vegetação proveniente de atividades de agricultura, como plantio de banana.

Tabela 19: Presença de *E. Coli* no mês de setembro de 2023, Riacho do Gila

Setembro	Quantitativo de indicadores	Valor provável em 100 ml	menor valor	maior valor
1	5	5,3	2,3	12,3
2	5	5,3	2,3	12,3
3	5	5,3	2,3	12,3
4	5	5,3	2,3	12,3
5	8	8,7	4,7	17,1
6	10	11,1	6,1	20,5
7	10	11,1	6,1	20,5
8	7	7,5	3,7	15,5
9	9	9,9	5,3	18,8
10	10	11,1	6,1	20,5

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

No Assentamento Imaculada, os níveis de contaminação em setembro de 2023 foram elevados em comparação ao Riacho do Gila, apresentado na tabela 20. O quantitativo de indicadores variou de 5 a 10, e os valores prováveis oscilaram de 5,3 a 11,1 em 100 ml. Este padrão reflete uma possível influência de atividades agrícolas intensivas e proximidade de animais nas cisternas, como observado durante as visitas. Esses fatores contribuem significativamente para a deterioração da qualidade da água.

Tabela 20: Presença de *E. Coli* no mês de setembro de 2023, Assentamento Imaculada.

Abril	Quantitativo de indicadores	Valor provável em 100 ml	menor valor	maior valor
1	12	13,7	7,9	23,9
2	12	13,7	7,9	23,9
3	10	11,1	6,1	20,5
4	10	11,1	6,1	20,5
5	14	16,4	9,8	27,5
6	11	12,4	7	22,1
7	12	13,7	7,9	23,9
8	12	13,7	7,9	23,9
9	12	13,7	7,9	23,9
10	10	11,1	6,1	20,5

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Em abril de 2024, os resultados apontaram um agravamento da contaminação. O quantitativo de indicadores variou de 10 a 14, com valores prováveis entre 11,1 e 16,4 em 100 ml. Essa concentração elevada reafirma a hipótese de maior impacto das chuvas na região, que contribuem para o transporte de resíduos orgânicos, aumentando a carga fecal. Este cenário representa um risco ainda maior à saúde da

comunidade, visto que a contaminação por *E. coli* está diretamente ligada a doenças de origem hídrica.

Assim como no Riacho do Gila, houve um aumento expressivo nos níveis de contaminação no Assentamento Imaculada em abril de 2024 em relação a setembro de 2023. Contudo, os valores absolutos registrados nesta comunidade são mais elevados em ambos os períodos, indicando que as condições locais (atividade agrícola, proximidade de animais e manutenção inadequada das cisternas) exercem um impacto mais significativo na qualidade da água.

Os resultados obtidos nas análises das amostras de água do Riacho do Gila e do Assentamento Imaculada evidenciam níveis elevados de contaminação por *Escherichia coli* (*E. coli*), o que compromete a potabilidade da água. Esses achados estão em consonância com diversos estudos que correlacionam a presença de *E. coli* com a contaminação fecal em ambientes rurais e periurbanos, especialmente em regiões com manejo inadequado de recursos hídricos e saneamento básico deficitário.

Os resultados apontaram a necessidade de atenção quanto a contaminação em Corpos Hídricos e Sazonalidade, o qual, semelhantemente estudos realizados por Silva et al. (2021) observaram que corpos hídricos expostos a atividades agrícolas e pecuárias apresentam maior carga de contaminação fecal, especialmente em períodos chuvosos. Esse padrão foi identificado no presente estudo, onde os níveis de *E. coli* foram mais elevados em abril de 2024, período caracterizado por maior índice pluviométrico. Segundo Lima et al. (2019), a chuva intensa contribui para o transporte de material orgânico e resíduos de origem animal e humana para os corpos d'água, corroborando os resultados mais expressivos de abril em ambas as localidades.

Outro achado no presente estudo se refere ao impacto da Atividade Humana, pois, de acordo com estudos de Costa (2020), áreas próximas a assentamentos humanos e com intensa atividade agrícola tendem a apresentar maior comprometimento na qualidade da água. O Assentamento Imaculada, que apresentou níveis consistentemente mais elevados de *E. coli*, ilustra bem essa correlação. A presença de vegetação proveniente de cultivos, como o plantio de banana, e a proximidade de animais às cisternas foram destacadas como fatores agravantes, alinhando-se com os achados de Santos (2018), que associam práticas agrícolas inadequadas à contaminação hídrica.

Na comparação dos municípios os valores observados no Assentamento Imaculada e no Riacho do Gila estão próximos aos registrados em estudos (Guevara *et al.*, 2019; Heller, 1997, 1998; ODS, 2024; Soares; Bernardes; Cordeiro Netto, 2002; Teixeira *et al.*, 2014) realizados nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, onde a ausência de saneamento adequado e a dependência de fontes hídricas naturais contribuem para índices elevados de contaminação por *E. coli*. Esses estudos também destacam que, em tais contextos, a falta de tratamento da água aumenta a vulnerabilidade das comunidades a doenças de origem hídrica, como diarreias e infecções gastrointestinais.

Portanto, pelos achados, compreende-se que o abastecimento da água de cisternas dos municípios estudados, apresentam riscos à saúde, pois conforme a OMS (2017), a presença de *E. coli* em amostras de água indica contaminação fecal recente e é um marcador de potencial presença de outros patógenos perigosos, como Salmonella e Shigella. Estudos como o de Silva *et al.* (2022) ressaltam que o consumo contínuo de água contaminada está diretamente relacionado ao aumento de morbimortalidade por doenças hídricas, especialmente em populações vulneráveis, como crianças e idosos.

Os resultados perpetuam a importância da proteção de fontes hídricas seguindo recomendações de Moura *et al.* (2024), para a implementação de barreiras físicas para reduzir a entrada de dejetos e o acesso de animais às cisternas e riachos.

De igual modo se faz fundamental o incentivo populacional para o uso de métodos simples e acessíveis, como cloração ou filtros de areia, conforme proposto por Francisco *et al.* (2018) e Cardoso *et al.* (2020), para reduzir a carga microbiológica. Para tanto a Educação Sanitária em meio a campanhas de conscientização sobre a importância do manejo adequado de resíduos e proteção das fontes hídricas devem fazer parte das Políticas Públicas, tendo em vista adotar programas de saneamento rural, conforme sugerido por estudos de Santos *et al.* (2022), visando reduzir a contaminação por meio da construção de fossas sépticas e melhorias estruturais.

Os resultados corroboram estudos anteriores que evidenciam os desafios de qualidade hídrica em contextos rurais e a importância do monitoramento constante. A similaridade entre os dados locais e os de outras regiões reforça a necessidade de estratégias integradas que combinem medidas de controle ambiental, educação comunitária e políticas públicas eficazes para garantir o acesso à água potável e proteger a saúde das populações vulneráveis.

5 CONCLUSÕES

Os achados ao longo deste estudo permitem responder às hipóteses inicialmente formuladas, pois verificou-se que os parâmetros de potabilidade da água armazenada nas cisternas de placas apresentam variações significativas em função de fatores como qualidade do manejo e condições ambientais locais. A presença de contaminantes biológicos em alguns casos confirma a necessidade de melhorias nos processos de armazenamento e tratamento da água, corroborando as hipóteses sobre a existência de riscos à saúde.

As análises das amostras de água do Riacho do Gila e do Assentamento Imaculada evidenciam níveis elevados de contaminação por *Escherichia coli* (*E. coli*), comprometendo a potabilidade da água e representando um risco significativo à saúde pública. Foi constatada uma variação considerável nos valores de *E. coli* entre os períodos de setembro de 2023 e abril de 2024, sendo os níveis mais altos observados no período chuvoso, o que sugere uma relação direta entre a sazonalidade e a intensificação da contaminação fecal.

Já no Assentamento Imaculada, os valores foram consistentemente mais elevados, refletindo condições locais adversas, como proximidade de animais, intensa atividade agrícola e manutenção inadequada das cisternas. Esses fatores exacerbam a carga de contaminação, especialmente no período de chuvas, quando o escoamento superficial facilita o transporte de resíduos orgânicos para os corpos d'água. Os resultados reforçam a necessidade urgente de intervenções que garantam a qualidade da água, como a implementação de sistemas de saneamento básico adequados, manejo eficiente dos recursos hídricos e conscientização das comunidades quanto às práticas higiênico-sanitárias.

Os principais achados indicaram que os parâmetros de turbidez se apresentaram acima dos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 em ambas as comunidades analisadas. Esse resultado reflete a presença excessiva de partículas suspensas, provavelmente decorrentes do transporte de sedimentos e matéria orgânica, especialmente durante o período chuvoso. Embora os parâmetros de pH, cor, amônia, nitrito, nitrato, cloretos e dureza tenham permanecido dentro dos limites regulamentares, foi identificado um aumento significativo em alguns desses parâmetros durante o período de chuvas, sugerindo a influência de fatores sazonais.

Foi possível analisar os principais parâmetros químicos, físicos e bacteriológicos, destacando indicadores críticos de qualidade da água. O mapeamento das cisternas permitiu identificar padrões de distribuição e uso, enquanto as análises de significância reforçaram a relação entre práticas de manejo inadequadas e comprometimento da potabilidade.

Outro ponto relevante foi a detecção de níveis elevados de fósforo em alguns pontos de coleta no município de Sousa, indicando a possível contribuição de fertilizantes agrícolas, esgoto doméstico ou outras fontes antropogênicas. Apesar de o fósforo não representar um risco direto à saúde humana em baixas concentrações, seu excesso pode desencadear a eutrofização e a proliferação de algas, comprometendo a qualidade da água a longo prazo.

Esses dados demonstram que, embora a maior parte da água armazenada esteja dentro dos padrões, há lacunas significativas no manejo e tratamento adequados. Todavia, algumas limitações foram observadas durante a execução do estudo. A dificuldade de acesso a algumas regiões e a limitação de recursos laboratoriais restringiram a abrangência das análises. Além disso, a ausência de dados históricos detalhados sobre as condições das cisternas dificultou uma análise mais aprofundada das tendências ao longo do tempo.

Em voga, estas limitações incluíram a análise restrita a dois períodos do ano e a coleta realizada em apenas duas comunidades. Essa limitação impossibilita uma avaliação mais abrangente das variações sazonais e regionais, assim como das relações entre o uso do solo e os parâmetros de qualidade da água.

Dentre as sugestões para estudos futuros, destaca-se a necessidade de monitoramento contínuo e sistemático da qualidade da água em diferentes épocas do ano e em uma amostragem mais abrangente de comunidades. Recomenda-se, também, a inclusão de análises microbiológicas detalhadas e a investigação dos impactos da localização e do manejo das cisternas na qualidade da água. Além disso, é essencial avaliar a eficácia de técnicas de tratamento simples e acessíveis, como filtração e decantação, na melhoria da turbidez e na redução de partículas suspensas.

Outra medida importante é a implementação de programas educativos voltados à população local, abordando boas práticas de manuseio e conservação das cisternas, além de conscientização sobre os riscos associados à turbidez elevada e à contaminação por fósforo. Investimentos em infraestrutura e políticas públicas que

garantam a segurança hídrica também são fundamentais para assegurar a potabilidade da água em comunidades rurais.

Para estudos futuros, sugere-se:

- Realização de pesquisas de longo prazo que acompanhem a evolução da qualidade da água armazenada em cisternas.
- Investigações sobre o impacto de campanhas educativas no manejo e conservação das cisternas.
- Avaliação do custo-benefício de tecnologias acessíveis para tratamento de água em comunidades rurais.
- Ampliação do escopo geográfico para incluir outras regiões semiáridas e comparar diferentes modelos de gestão hídrica.

Em síntese, os resultados deste estudo reforçam a importância de monitorar e gerir a qualidade da água de forma integrada e adaptada às especificidades das regiões semiáridas do Brasil. A partir dessas evidências, espera-se contribuir para a melhoria das condições de acesso à água potável e para o desenvolvimento de soluções sustentáveis que atendam às demandas dessas comunidades.

Conclui-se que, embora as cisternas de placas desempenhem um papel fundamental na melhoria do acesso à água em comunidades rurais, sua eficácia depende de ações integradas que combinem infraestrutura adequada, educação comunitária e monitoramento contínuo da qualidade da água. Espera-se que este estudo contribua para avanços significativos na gestão de recursos hídricos e na qualidade de vida das populações atendidas.

REFERÊNCIAS

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Caracterização das regiões naturais**. 2016. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/PE_07.pdf. Acesso em: 11 jan. 2024.

ALMEIDA, Hermes Alves de; VIRIATO, Crislânne Lemos; SAMPAIO, Erandi Andrade de Moura. Alternativa da captação de água da chuva: qualidade da água armazenada em cisternas e em tanques naturais. **Geo UERJ**, n. 37, p. e36106–e36106, 2020. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/36106>. Acesso em: 8 jan. 2025.

ANA, Agência Nacional de Águas. **relatorio-conjuntura-2017.pdf — Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Brasília, DF: 2017. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view>. Acesso em: 7 jan. 2025.

ARAGAO, O P. Diretrizes para estabilização da agricultura de sequeiro. *In*: Cons. Do solo, 1981, Recife-PE. **Anais do III Encontro Nac.onal de Pesq, sobre Cons. do Solo**, Recife-PE: 1981. p. 15. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/131496/1/ARAGAOO.P.1981.pdf>.

ARAUJO, Daniel *et al.* **Análise de Impacto do Programa Cisternas 1ª Água sobre Indicadores de Saúde**. Online: 2021. v. Único Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/ted0172020-produto4.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2027.

ARSKY, Igor da Costa. Os efeitos do Programa Cisternas no acesso à água no semiárido. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/73378>. Acesso em: 8 jan. 2025.

ARK SUSTENTÁVEL. **Quais são as cisternas para armazenar água da chuva?** 2023. Disponível em: <https://blog.arksustentavel.com/tipos-existentis-de-cisternas-para-armazenar-agua/>. Acesso em: 01 fev. 2024.

ASA. **ASA Brasil - Articulação no Semiárido Brasileiro**, 2022. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/>. Acesso em: 17 ago. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 15527**: Água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 15527**: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis– Requisitos. Rio de Janeiro - RJ, 2019

BARROS, Luciano Cordoval de; RIBEIRO, Paulo Eduardo de Aquino. **Barriguinhas: Água De Chuva Para Todos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

(Abc Da Agricultura Familiar). v. 21 Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/256599/1/ABCBarraginhasaguadechuvaparatodosed012009.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2024.

BEZERRA, Stella Maris da Cruz *et al.* Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Ambiente Construído**, v. 10, p. 219–231, 2010. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ac/a/qG5FpFbhNVjccQxRgHb9G3B/>. Acesso em: 8 jan. 2025.

BICUDO, Carlos Eduardo de Mattos; TUNDISI, José Galizia; SCHEUENSTUHL, Marcos Cortesão Barnsley (org.). **Waters of Brazil: Strategic Analysis**. 1st ed. 2017 edição: Springer, 2016.

BLACK, Robert E. *et al.* Global, regional, and national causes of child mortality in 2008: a systematic analysis. **Lancet (London, England)**, v. 375, n. 9730, p. 1969–1987, 2010.

BRAGA, Thárcio Ruston Oliveira. **Armazenamento de água em cisternas e sua relação com morbidade em Cajazeiras-PB**. 2024. - Dissertação (mestrado) - Universidade Católica de Santos, Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Saúde Coletiva, Santos-SP, 2024. Disponível em:
<https://tede.unisantos.br/handle/tede/8016>. Acesso em: 18 ago. 2024.

BRASIL. **Lei de 1º de outubro de 1828**. Dá nova forma às Camaras Municipaes, marca suas attribuições, e o processo para a sua eleição, e dos Juizes de Paz. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lim/lim-1-10-1828.htm#:~:text=LEI%20DE%201%C2%BA%20DE%20OUTUBRO,e%20dos%20Juizes%20de%20Paz.&text=Art.,sete%2C%20e%20de%20um%20Secretario. Acesso em: 12 jan. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código de Águas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643compilado.htm. Acesso em: 12 jan. 2024.

BRASIL. Câmara dos deputados. **Decreto nº 63.778, de 11 de dezembro de 1968**. Dispõe sobre a inclusão de municípios na área do Polígono das Secas. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-63778-11-dezembro-1968-405144-norma-pe.html>. Acesso em: 08 jan. 2024.

BRASIL. **Constituição da república federativa do Brasil de 1988**. Sessão II, art. 200. IV - participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 15 jan. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de

dezembro de 1989. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 12 jan. 2024.

BRASIL. **Resolução no 32, de 15 de outubro de 2003**. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria No. 518, de 25 de março de 2004**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 26 de mar. 2004. Seção 1, p. 266.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 12 jan. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 7.536 de 26 de julho de 2011**. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/D7536.htm. Acesso em: 12 jan. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.873, de 24 de outubro de 2013**. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/L12873.htm. Acesso em: 31 jan. 2023.

BRASIL. Ministério De Desenvolvimento Social E Combate À Fome. **Instrução Normativa – Modelos de Tecnologias Sociais nº 02,03 e 04**. Brasília: SESAN,2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano [recurso eletrônico] Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador**. Brasília: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em:
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretriz_nacional_plano_amostragem_agua.pdf. Acesso em: 13 jan. 2024.

BRASIL. Programa Cisternas. SESAN. In: Seminário Internacional Políticas Sociais Para o Desenvolvimento XI edição. 2016. Disponível em: https://wpp.org.br/wp-content/uploads/2016/12/SESAN_Cisternas_POR_rev.pdf. Acesso em: 31 jan. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. 2017. Disponível em:
https://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 13 jan. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Qualidade da água para consumo humano**: cartilha para promoção e proteção da saúde [recurso eletrônico] Brasília: 2018. Disponível em:
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/qualidade_agua_consumo_humano_cartilha_promocao.pdf. Acesso em: 12 jan. 2024.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 13 jan. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023**. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei de Saneamento Básico), para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reúso não potável das águas cinzas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14546.htm. Acesso em: 13 jan. 2024.

BRITO, L. T. de L.; AMORIM, M. C. C. de; LEITE, W. de M. **Qualidade da água para consumo humano**. 2007. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/145537>. Acesso em: 8 jan. 2025.

BRUM, Marcelo Lovato *et al.* Relação de Inundações e a Caracterização Morfológica da Microbacia Hidrográfica do Lajeado do Moinho na Cidade de São Sepé - RS. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 3, p. 436_443-436_443, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/35605>. Acesso em: 7 jan. 2025.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Crise Hídrica**. [S. l.], 2018. Governamental. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/fiquePorDentro/temas/crise-hidrica-mar-2018/crise-hidrica>. Acesso em: 7 jan. 2025.

CAMPOS, José Nilson B. (PDF) Água, sociedade e natureza: desenvolvimento científico e gestão de águas. **Researchgate**, p. 19–34, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/296196021_Agua_sociedade_e_natureza_desenvolvimento_cientifico_e_gestao_de_aguas. Acesso em: 8 jan. 2025.

CARDOSO, Maria Karolina Borba *et al.* Dessalinizador solar do tipo cascata aplicado em poços artesianos no interior da Paraíba. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 2, p. 135–142, 2020. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29799>. Acesso em: 8 jan. 2025.

CETESB, Governo do Estado de São Paulo. **O problema da escassez de água no mundo** » Águas Interiores. *In*: 22 nov. 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>. Acesso em: 7 jan. 2025.

CODEVASF - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. **Caderno de caracterização**: estado da Paraíba / organizadores, Renan Loureiro Xavier Nascimento ... [et al.]. – Brasília, DF: 2022. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/caderno-de-caracterizacao-estado-da-paraiba.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2024

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 430 DE 13/05/2011**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0430-130511.PDF>. Acesso em: 12 jan. 2024.

CORREIA, R. C. *et al.* A região semiárida brasileira. *In*: Produção de caprinos e ovinos no semiárido. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. p. 21–48. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/916891>. Acesso em: 7 jan. 2025.

COSTA, Cristian José Simões. Sociedade e Ambiente: diálogos, reflexões e percepções: **Realize Eventos Científicos E Editora Ltda**, 2020.

DANELON, Jean Roger Bombonato; NETTO, Fausto Miguel da Luz; RODRIGUES, Silvio Carlos. Análise do nível de fosforo total, nitrogênio amoniacal e cloretos nas águas do córrego Terra Branca no Município De Uberlândia (MG). **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 4, p. 412–421, 2012. Disponível em: [//periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1844](http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1844). Acesso em: 3 dez. 2024.

DANTAS, Lidiane Gonçalves. A Problemática do acesso e uso da Água no Sítio Cacimba Nova, Zona Rural de São João do Rio do Peixe - PB. **UFCEG**, 2013. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/10384>. Acesso em: 18 ago. 2024.

DE SOUZA, Gabriel Ramos. Desenvolvimento laboratorial através das análises físico-química de água das principais escolas da zona urbana do município de Massaranduba – PB. *In*: , 2021, Massaranduba–PB. **Anais V CONEDU**. Massaranduba–PB. 2021. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2018/TRABALHO_EV117_MD1_SA19_ID11515_17092018224837.pdf.

ESTENDER, Antonio Carlos; SIQUEIRA, Nilza Aparecida Dos Santos. O desenvolvimento sustentável e a construção de cisternas no Semiárido. **Participação**, v. 1, n. 32, p. 30–48, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/participacao/article/view/24088>. Acesso em: 8 jan. 2025.

FARTO, Cindy Deina; SILVA, Tarciso Cabral da. Variações da qualidade da água de chuva e de açudes armazenada em cisternas em municípios do semiárido do estado da Paraíba. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, p. 859–871, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jhPRYvdGKnWZ3yVfhGfjNXQ/>. Acesso em: 8 jan. 2025.

FERNANDES, Amanda Cristiane Gonçalves. Contribuições da Lei 10.033/2013 para a implementação de tecnologia social no reuso de águas cinzas no estado da Paraíba. **Editora Licuri**, p. 208–221, 2022. Disponível em: <https://editorallicuri.com.br/index.php/ojs/article/view/16>. Acesso em: 18 ago. 2024.

FERREIRA, Bruno Trindade *et al.* Caracterização tecnológica de metapiroxenito da formação Córrego dos Boiadeiros, Nova Lima (MG), BRASIL. **ResearchGate**, 2024. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/369889306_CHARACTERIZACAO_TECNOLÓGICA_DE_METAPIROXENITO_DA_FORMACAO_CORREGO_DOS_BOIADEIROS_NOVA_LIMA_MG_BRASIL. Acesso em: 7 jan. 2025.

FERREIRA, Elvis Pantaleão *et al.* Uso eficiente da água de chuva armazenada em cisterna para produção de hortaliças no Semiárido pernambucano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 01–07, 2016. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/4035>. Acesso em: 17 ago. 2024.

FIM, Barbara Moreto. **Análises quantitativa e qualitativa das águas superficiais da bacia hidrográfica do ribeirão Rodeador/DF para avaliação das cargas de poluição**. 2018. 107 f. Dissertação - Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018. Disponível em: http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2020/02/Dissertacao_Versao_Final_BARBARA_MORETO_FIM.pdf. Acesso em: 1 jan. 2025.

FRANCISCO, Adriana Ribeiro; PATERNIANI, José Euclides Stipp; MAYURUNA, Jaime da Silva. Técnicas alternativas de tratamento de água voltadas para indígenas do Vale do Javari. **Inclusão Social**, v. 12, n. 1, 2018. Disponível em: <https://revista.ibict.br/inclusao/article/view/4389>. Acesso em: 9 jan. 2025.

FREITAS, Marcelo Bessa; FREITAS, Carlos Machado de. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, p. 993–1004, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/WW5yn576ZGbM3FQNDWYKFKB/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 7 jan. 2025.

GODOY, Mariana *et al.* Estudo de viabilidade para uso da água de chuva para fins potáveis em casas populares do agreste pernambucano. **Paranoá**, v. 16, n. 34, p. 1–17, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/47521>. Acesso em: 7 jan. 2025.

GOMES, Fellype Diorgennes Cordeiro. Estudo de características físico-químicas e qualidade de água sendo uma amostra de poço e uma de cisterna. **Research, Society and Development**, v. 9, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3227>. Acesso em: 3 jan. 2025.

GOMES, Flávia Ingrid Bezerra Paiva; ZANELLA, María Elisa. Histórico, causas e características da semiaridez do Nordeste do Brasil. **Geografares**, v. 3, n. 37, p. 209–233, 2023. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9311935>. Acesso em: 8 jan. 2025.

GOVERNO DA PARAÍBA. **Empreender PB: Governo amplia investimentos na linha Empreender Mulher**. 2023. Governamental. Disponível em: <https://www.empreenderpb.pb.gov.br/noticias/2023/marco-de-2023/empreender-pb-governo-amplia-investimentos-na-linha-empreender-mulher>. Acesso em: 8 jan. 2025.

GOVERNO DA PARAÍBA. **Governo intensifica ações no combate à crise hídrica em todas as regiões do Estado**. 2021. Governamental. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/noticias/governo-intensifica-acoes-no-combate-a-crise-hidrica-em-todas-as-regioes-do-estado>. Acesso em: 8 jan. 2025.

GOVERNO DA PARAÍBA. **Paraíba Rural Sustentável**. 2024. Governamental. Disponível em: <https://cooperar.pb.gov.br/pb-rural-sustentavel/paraiba-rural>. Acesso em: 8 jan. 2025.

GOVERNO DA PARAÍBA. **PB Rural Sustentável capacita 3,5 mil famílias sobre construção, uso e manutenção de cisternas**. 2022. Governamental. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/noticias/pb-rural-sustentavel-capacita-3-5-mil-familias-sobre-construcao-uso-e-manutencao-de-cisternas>. Acesso em: 8 jan. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Governo Federal garante R\$ 80 milhões para o Programa Cisternas no Ceará**. 2024. Disponível em: <https://www.sda.ce.gov.br/2024/04/09/governo-federal-garante-r-80-milhoes-para-o-programa-cisternas-no-ceara/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia e meio ambiente**. 14ª edição. Bertrand Brasil, 1995.

GUEVARA, Arnaldo José de Hoyos *et al.* Água potável e saneamento. **Pontifícia Universidade Católica De São Paulo**, 2019. Disponível em: https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eventos/bisus/1-agua_potavel_saneamento.pdf. Acesso em: 1 jan. 2024.

HEIJNEN, Han. A Captação de Água da Chuva: Aspectos de Qualidade da Água, Saúde e Higiene. *In:* , 2012, Campina Grande-PB. **XIII Simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva**. Campina Grande-PB, 2012. p. 14.

HELLER, Léo. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 3, p. 73–84, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/4wdHGnBkYZg4qzdgSMnLwgx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 7 jan. 2025.

HELLER, Léo. Saneamento e saúde. *In:* **Saneamento e saúde**, 1997. p. 97–97. Disponível em: <https://fi-admin.bvsalud.org/document/view/829cz>. Acesso em: 7 jan. 2025.

HENIG, Edir Vilmar. Breves reflexões sobre os resultados do Programa 1 Milhão de Cisternas. **Serviço Social em Revista**, v. 26, n. 1, Revista Serviço Social em Revista, p. 305–329, 2023. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/ssrevista/article/view/46538>. Acesso em: 17 ago. 2024.

HIRLE, Alice de Sousa *et al.* Avaliação do perfil de consumo de água e sobrevida de poços tubulares por meio da implantação tarifária. *In:* , 2018. **XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**. 2018.

IAS_WORDPRESS_ADMIN. **O Saneamento básico no Brasil rural: reflexões para alcançar a universalização**. 2022. Disponível em:

<https://www.aguaesaneamento.org.br/o-saneamento-basico-no-brasil-rural-reflexoes-para-alcancar-a-universalizacao/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

IBGE, Coordenação de Geomática. **IBGE - Educa | Jovens**. 2024. Governamental. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio.html>. Acesso em: 7 jan. 2025.

IBGE, Coordenação de Geomática (org.). **Quadro geográfico de referência para produção, análise e disseminação de estatísticas**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ibge, 2022. Disponível em: https://nada.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/a32c92ac895a068c195bbebf96b01d24.pdf. Acesso em: 3 jan. 2025.

JÚNIOR, Flora. **A Importância do Monitoramento das Águas**. 2020. Disponível em: <https://www.florajunior.com/post/a-importancia-do-monitoramento-das-aguas>. Acesso em: 7 jan. 2025.

JÚNIOR, Mário Jorge Ramos de Oliveira; PINHEIRO, Érika Cristina Nogueira Marques; COELHO, Ilsa Maria Honório de Valois. Reservatório para armazenamento e reaproveitamento de águas pluviais: uma possibilidade para redução do consumo de água no município de Jutai-AM. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 11, p. 30157–30180, 2023. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/65011>. Acesso em: 7 jan. 2025.

JUNIOR, Francisco Calixto; SILVA, Antônia Carlos da. Sustentabilidade e políticas públicas de convivência com o semiárido: um olhar sobre as tecnologias sociais no campo. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 18, n. 1, p. 44–62, 2016. Disponível em: <http://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/285>. Acesso em: 8 jan. 2025.

KALYNE LOURENÇO, Dauany *et al.* Avaliação das condições construtivas e da qualidade de água do programa um milhão de cisternas na comunidade rural De Poços em Cajazeiras-PB. **Revista interdisciplinar em saúde**, v. 6, n. 3, p. 45–66, 2019. Disponível em: http://www.interdisciplinaremsaude.com.br/Volume_25/Trabalho_03.pdf. Acesso em: 3 dez. 2024.

KLEIN, Claudia; AGNE, Sandra Aparecida Antonini. Fósforo: de nutriente à poluente!. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 1713–1721, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/6430>. Acesso em: 3 dez. 2024.

LANNA, Antonio Eduardo. A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso. **Estudos Avançados**, v. 22, p. 113–130, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/j9WZcXCsMX3mFpqzVWBFyxb/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 7 jan. 2025.

LEAL, Adriana. Cisterna de placa: uma tecnologia social para a convivência com o semiárido. **Revista Caravana**, v. 1, n. 1, 2014. Disponível em: <https://caravana.ifpe.edu.br/caravana/article/view/10>. Acesso em: 8 jan. 2025.

LEAL, Adriana Karla Tavares Batista Nunes. **Uso de tecnologias sociais de captação de água da chuva a convivência com o semiárido brasileiro**. 2015. 127 f. - Dissertação (Mestrado) Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia De Pernambuco Mestrado Profissional Em Gestao Ambiental, Recife-PE, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/89>. Acesso em: 3 dez. 2024.

LOPES, Wilza da Silva *et al.* Qualidade das águas de fontes alternativas para usos múltiplos no semiárido paraibano. **Revista Geama**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 28–38, 2021. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/4236>. Acesso em: 3 dez. 2024.

LOPES, Paulo Cícero Borges; PEREIRA, Luiz Andrei Gonçalves. Produto Interno Bruto dos setores produtivos nas novas regiões do norte de Minas Gerais – Brasil. [s. l.], n. 22, p. 165–185, 2023. Disponível em: <https://revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/421>. Acesso em: 7 jan. 2025.

LUCENA, Clara Yasmim De Souza *et al.* O reuso de águas residuais como meio de convivência com a seca no semiárido do Nordeste Brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, [s. l.], v. 4, p. 1–17, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/13321>. Acesso em: 7 jan. 2025.

LUNA, Carlos Feitosa. **Avaliação do impacto do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) na saúde: ocorrência de diarreia no Agreste Central de Pernambuco**. 2011. Thesis - Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Recife-PE, 2011. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/10660>. Acesso em: 17 ago. 2024.

MACHADO, Taysa Tamara Viana *et al.* Avaliação da qualidade de águas de chuva armazenadas em cisternas de placas e de polietileno em um município do semiárido do estado da Paraíba. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 26, p. 151–158, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/YXWG5P4hmY9B6JdD9FFQFZx/?lang=pt>. Acesso em: 17 ago. 2024.

MAGALHÃES, Antonio Rocha; ENGLE, Nathan L.; DE NYS, Erwin. **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: Cgee, 2016.

MAROUBO, Laís Alves. **DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE PRESIDENTE PRUDENTE NO TOCANTE DOS ÍONS METÁLICOS POTENCIALMENTE TÓXICOS**. 2017. - Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto – SP, 2017.

MEDEIROS, Carolina Beltrão de. **Expansão de iniciativas de inovação social: uma proposição adaptativa para análise de percursos**. 2018. 229 f. doctoralThesis - Tese (Doutorado em Administração) – Universidade Federal de

Pernambuco. CCSA, Recife-PE, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/31421>. Acesso em: 17 ago. 2024.

MEDEIROS, Carolina Beltrão de; GÓMEZ, Carla Regina Pasa. Inovação social na análise do ciclo de expansão do programa 1 milhão de cisternas. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 44–59, 2019. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/2064>. Acesso em: 17 ago. 2024.

MEDEIROS, Carolina; KELNER SILVEIRA, Sergio. Programa um milhão de cisternas: uma inovação social institucionalizada. **Revista Brasileira de Tecnologias Sociais**, v. 9, 2023.

MELO, Roseli Freire de *et al.* Barragem Subterrânea. **Embrapa**, v. 96, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/917165/1/INT96.pdf>.

MELO, Valneli da Silva; SOUSA, Francisco de Assis Salviano. Análise de frequência de secas utilizando técnica de agrupamento e distribuições de probabilidades. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 53–60, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/XYsD85X7VHYxYgdZjHMwhCS/?lang=pt>. Acesso em: 8 jan. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim epidemiológico aponta redução na taxa de mortalidade por padrões de água inadequados nos últimos 20 anos no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2023/junho/boletim-epidemiologico-aponta-reducao-na-taxa-de-mortalidade-por-padroes-de-agua-inadequados-nos-ultimos-20-anos-no-brasil>. Acesso em: 30 ago. 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **VIGIAGUA**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/seidigi/demas/situacao-de-saude/vigiagua/vigiagua>. Acesso em: 18 ago. 2024.

MORAES, Bruna Silva Ribeiro de *et al.* Análise econômica-ecológica de agroecossistemas: estudo de caso do Sítio Cacimba do Meio, Casa Nova - BA. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/4277>. Acesso em: 17 ago. 2024.

MOURA, Maria Taylana Marinho; CAVALCANTE, Andrea Almeida; SOUZA, Marcos José Nogueira de. Análise geoespacial e políticas públicas de acesso à água: estudo de caso em comunidades rurais, Ceará-Brasil. *In*: Encontro luso-afro-americano de geografia física e ambiente, 2024, Campina Grande-PB. **Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA**. Campina Grande-PB: Realize, 2024. p. 8. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/118752>. Acesso em: 9 jan. 2025.

NASCIMENTO, Maxsuel Bezerra do; MEDEIROS, Marysol Dantas de. Índices de severidade da seca no semiárido, Paraíba. **Mercator**, [s. l.], v. 21, 2023. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e21024>. Acesso em: 8 jan. 2025.

NERY, Janiele França *et al.* Águas Inseguras? Monitoramento da qualidade da água estocada em cisternas no semiárido paraibano. **ResearchGate**, 2024. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/350477438_Aguas_Inseguras_Monitoramento_da_qualidade_da_agua_estocada_em_cisternas_no_semiarido_paraibano. Acesso em: 3 dez. 2024.

NUNES, Maria Graciane Pereira; SILVA, Cí-cero Nilton Moreira da. Nordeste brasileiro: um olhar sobre o semiárido e a convivência com a seca. **Revista Geotemas**, v. 10, n. 3, p. 148–160, 2020. Disponível em:

<https://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/2780>. Acesso em: 17 ago. 2024.

ODS, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. **Sustainable Development Goal 6: Água potável e saneamento | As Nações Unidas no Brasil**, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 8 jan. 2025.

OLIVEIRA JÚNIOR, Raimundo Fernandes de. **Análise dos atributos qualitativos da água em microbacia perene do Semiárido brasileiro**. 2020. 126 f. Tese - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, Mossoró, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.ufersa.edu.br/items/1ffd725c-d3fe-4982-9ffd-f57dc8c0f8ca>. Acesso em: 7 jan. 2025.

ONU, Organização das Nações Unidas. **65ª sessão da Assembleia Geral começa hoje | As Nações Unidas no Brasil**. 2010. Governamental. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/55778-65%C2%AA-sess%C3%A3o-da-assembleia-geral-come%C3%A7a-hoje>, <https://brasil.un.org/pt-br/55778-65%C2%AA-sess%C3%A3o-da-assembleia-geral-come%C3%A7a-hoje>. Acesso em: 7 jan. 2025.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Agências da ONU lançam Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos | As Nações Unidas no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/123077-ag%C3%AAsncias-da-onu-lan%C3%A7am-relat%C3%B3rio-mundial-sobre-o-desenvolvimento-dos-recursos-h%C3%ADdricos>, <https://brasil.un.org/pt-br/123077-ag%C3%AAsncias-da-onu-lan%C3%A7am-relat%C3%B3rio-mundial-sobre-o-desenvolvimento-dos-recursos-h%C3%ADdricos>. Acesso em: 7 jan. 2025.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Understanding phosphorus: global challenges and solutions**. 2024. Disponível em: <https://www.unep.org/noticias-e-reportagens/reportagem/o-que-e-fosforo-e-por-que-aumentam-preocupacoes-sobre-o-seu>. Acesso em: 3 dez. 2024.

PAULA, Eugênia Vale de *et al.* A Inovação Social e o Desenvolvimento Sustentável na Algicultura: O Caso do Projeto Mulheres de Corpo e Alga. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 379–400, 2015. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/3434>. Acesso em: 17 ago. 2024.

PEREIRA, Priscila Sousa. **Mulheres rurais na luta pela água: construções do desenvolvimento no Semiárido Paraibano**. 2021. 91 f. - Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural. Universidade Federal de Santa, Santa Maria - RS, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/24361>. Acesso em: 17 ago. 2024.

PINHEIRO, Antônio Flávio Costa *et al.* Qualidade da água e aspectos construtivos dos poços do aquífero aluvionar do rio Jaguaribe, município de São João do Jaguaribe, Ceará. **Derbyana**, v. 44, 2023. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/792>. Acesso em: 3 dez. 2024.

PINTO, Vívian Gemiliano. **Análise comparativa de legislações relativas à qualidade da água para consumo humano na América do Sul**. 2006. 212 f. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Minas Gerais, 2006. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUDB-8APM86/1/an_lise_comparativa_de_legisla__es.pdf. Acesso em: 1 jan. 2024.

POCHMANN, Marcio *et al.* Novo padrão de divisão regional do trabalho no Brasil no primeiro quarto do século XXI. **RBEST Revista Brasileira de Economia Social e do Trabalho**, v. 5, p. e023003–e023003, 2023. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/rbest/article/view/17539>. Acesso em: 7 jan. 2025.

POISSON, Editora (org.). **Processos Químicos e Biotecnológicos – Volume 4**: Editora Poisson, 2020. Disponível em: https://www.poisson.com.br/livros/quimica/volume4/Proc_Quimicos_vol4.pdf. Acesso em: 3 dez. 2024.

QUEIROZ, Daniela Bastos De *et al.* Tecnologias Sociais na Redução da Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas nos Municípios do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 2, p. 261–268, 2022. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862022000200261&tlng=pt. Acesso em: 8 jan. 2025.

QUEVEDO, Claudia Maria Gomes; PAGANINI, Wanderley Silva. A disponibilização de fósforo nas águas pelo uso de detergentes em pó: aspectos ambientais e de Saúde Pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, p. 3891–3902, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/TNwRfffGPKRhht9KBb3YVbg/>. Acesso em: 3 dez. 2024.

REIS, Rodrigo Alves dos; SANCHES, Michela Carla; MALDONADO, Alírio Coromoto Daboin. Água, fonte da vida/ Water, source of life. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 28297–28296, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/26673>. Acesso em: 7 jan. 2025.

RIBEIRO, Carolina Silva; OLIVEIRA, Gilca Garcia de. A questão hídrica no semiárido baiano: conflitos pelo uso da água e as tecnologias sociais de aproveitamento de

água de chuva. **Revista del CESLA**, n. 23, p. 355–382, 2019. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/2433/243360564016/html/>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SABINO, Maicol Victor Ferreira *et al.* **Qualidade físico-química de água de cisterna localizada no município de Queimadas – PB**, 2020. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/57878>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SALES, Eliton Sancler Gomes *et al.* Classificação de áreas semiáridas e subúmidas secas utilizando diferentes índices climáticos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 479–491, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbge/article/view/246458>. Acesso em: 7 jan. 2025.

SANCHES, Sofia Diniz; PEDRO, Maria Angélica Marques. Estudo do emprego de coagulantes naturais e ozônio no tratamento de água superficial para uso na indústria de alimentos. **Revista Científica Unilago**, v. 1, n. 1, 2023. Disponível em: <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/1014>. Acesso em: 3 dez. 2024.

SANTANA, Vitor Leal; ARSKY, Igor da Costa. Aprendizado e inovação no desenho de regras para a implementação de políticas públicas: a experiência do Programa Cisternas. <https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/issue/view/105>, ENAP, 2016. Disponível em: <http://repositorio.enap.gov.br/jspui/handle/1/2927>. Acesso em: 17 ago. 2024.

SANTOS, Izabela Penha de Oliveira. **Crise hídrica: desastre socialmente construído e injustiça ambiental no bairro Novo Recreio (Guarulhos, SP)**. 2021. 200 f. text - Universidade de São Paulo, SÃO PAULO, SP, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106132/tde-09122021-114623/>. Acesso em: 7 jan. 2025.

SANTOS, Solange Maria da Conceição dos *et al.* Saneamento básico no Nordeste: metas, desafios e investimentos. **Revista Ciência Geográfica**, v. 26, n. 01, p. 155–180, 2022. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/article/view/2877>. Acesso em: 9 jan. 2025.

SANTOS, José Lucas Guilherme. **Vulnerabilidade social e ambiental ao evento extremo seca em comunidades rurais do município de Pombal – PB: uma análise acerca dos impactos da mudança climática na segurança alimentar, hídrica e energética**. 2018. 123 f. Dissertação - Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3183>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SENADO FEDERAL. **Legislação Federal - Senado Federal**. 2010. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/411857>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SILVA, Crisóstomo Hermes Soares Trajano da *et al.* Avaliação comparativa de agentes coagulantes químico e natural no processo de coagulação de águas de cisterna no município de Sumé-PB **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p.

5109–5116, 2020. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/6539>. Acesso em: 3 dez. 2024.

SILVA, Everton Vieira da *et al.* **Avaliação das práticas de utilização e tratamento das águas de cisterna: um estudo na comunidade baixa grande, cachoeira dos índios PB**. 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/64986>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SILVA, Aldeni Barbosa da *et al.* Microbiologia da água utilizada para consumo nas escolas públicas de São Sebastião de Lagoa De Roça-PB, BRASIL. **Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 217–229, 2022. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/saude/article/view/10846>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SILVA, Aldeni Barbosa da *et al.* Monitoramento bacteriológico da água de cisternas nas escolas públicas da cidade de Esperança/PB. **Revista OWL (OWL Journal) - REVISTA INTERDISCIPLINAR DE ENSINO E EDUCAÇÃO**, v. 1, n. 3, p. 133–149, 2023. Disponível em: <https://revistaowl.com.br/index.php/owl/article/view/91>. Acesso em: 7 jan. 2025.

SILVA, Tatiana Canuto. **Percepção de agricultores do agreste brasileiro sobre os efeitos da cisterna calçadão em suas vidas**. 2018. 92 f. Dissertação - Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, 2018.

SIMSEN, Aline Luiza *et al.* Determinação de cloro e enxofre em diferentes espécies de macroalgas da Antártica. **In: XXXII CIC**, 2023, Pelotas. **9ª Semana Integrada UFPEL**. Pelotas. 2023. p. 4. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/cic/arquivos/2023/CE_06245.pdf?ver=1695412670. Acesso em: 3 jan. 2025.

SINGH, A. K.; BHARGAWA, Asheesh. Atmospheric burden of ozone depleting substances (ODSs) and forecasting ozone layer recovery. **Atmospheric Pollution Research**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 802–807, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104218304355>. Acesso em: 7 jan. 2025.

SOARES, Sérgio R. A.; BERNARDES, Ricardo S.; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 18, p. 1713–1724, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/zSTTXpfMwDFQ64tRM9YbDzt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 7 jan. 2025.

SOLDERA, Bruna. **Água na região nordeste**, 2022. Disponível em: <https://www.aguasustentavel.org.br/conteudo/blog/160-agua-na-regiao-nordeste>. Acesso em: 7 jan. 2025.

SOUZA, Juliana Rosa de *et al.* A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica**

do **PRODEMA**, v. 8, n. 1, 2014. Disponível em:
<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/217>. Acesso em: 3 dez. 2024.

SOUZA, Givaldo Alves Silva de. **Projeto Cooperar: levantamento histórico da política de combate à pobreza rural no Estado da Paraíba em parceria com o Banco Mundial**. 2015. TCC. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SOUZA, Melina da Silva de *et al.* Tecnologias sociais de captação de água no Assentamento Vida Nova – Aragão em Miraima – CE. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/4995>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SOUZA, Ygor Azevedo Soares de; MACHADO, Pedro José de Oliveira. Os Descaminhos Das Águas: Do Sagrado Ao Mercado. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 551–569, 2018. Disponível em:
<https://www.redalyc.org/journal/3371/337159727007/html/>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SOUZA NETO, Antonio Ferreira. **Espacialização de um conjunto de tecnologias sociais hídricas no Estado da Paraíba**. 2020. 52 f. Monografia - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2020. Disponível em:
<file:///C:/Users/Miriam/Downloads/AFSN08052020.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2025.

TAVARES, Válter Cardoso; ARRUDA, Ítalo Rodrigo Paulino de; SILVA, Danielle Gomes da. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385–405, 2019. Disponível em:
<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2019v34n70p385>. Acesso em: 7 jan. 2025.

TEIXEIRA, Wilson *et al.* **Decifrando a terra**. 2ª edição. Companhia Editora Nacional, 2007.

TEIXEIRA, Júlio César *et al.* Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009. **Eng Sanit Ambient**, p. 87–96, 2014. Disponível em:
<https://repositorio.ufff.br/jspui/handle/ufff/7714>. Acesso em: 18 ago. 2024.

TUGOZ, Jamila El; BERTOLINI, Geysler Rogis Flor; BRANDALISE, Loreni Teresinha. Captação e Aproveitamento da Água das Chuvas: O Caminho para uma Escola Sustentável. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 26–39, 2017. Disponível em:
<https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/10030>. Acesso em: 8 jan. 2025.

UNESCO. **International Hydrological Decade: report of the Intergovernmental Meeting on Scientific Hydrology, Proposal to establish a co-ordinating Council of the Decade**. 1964. Disponível em:
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000250724?posInSet=1&queryId=N-EXPLORE-5e857f91-59ad-44d7-8121-60f8ae2795ee>. Acesso em: 7 jan. 2025.

VANELLI, Franciele Maria; KOBAYAMA, Masato. Situação atual da socio-hidrologia no mundo e no Brasil. **Lume Repositório Digital**, 2019. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/211699>. Acesso em: 7 jan. 2025.

VARGAS, Marcelo Coutinho. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, p. 109–134, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/rbpBfq5jmJwXfC5WXf8Wpbg>. Acesso em: 7 jan. 2025.

VELOSO, Nircele da Silva Leal; MENDES, Ronaldo Lopes Rodrigues. Aspectos legais do uso da água da chuva no Brasil e a gestão dos recursos hídricos: notas teóricas. XX Simpósio brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves; MENDES, Ronaldo Lopes Rodrigues. ABRHidro - Anais - Aspectos Legais Do Uso Da Água Da Chuva No Brasil E A Gestão Dos Recursos Hídricos: Notas Teóricas. *In*: ABRH, 2013, Bento Gonçalves-RS. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves-RS. 2013. p. 8. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=1084>. Acesso em: 8 jan. 2025.

VIEIRA, Flávio Lúcio Rodrigues. O banco mundial e o combate à pobreza no nordeste: o caso da Paraíba. **Caderno CRH**, v. 21, p. 113–129, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ccrh/a/6p4TGRjjYd7jvPLn3hsQ9hC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 8 jan. 2025.

VIRGENS, Mariza *et al.* Cisternas de enxurradas como alternativa para à agricultura familiar. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 9, n. 16, 2013. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3325>. Acesso em: 8 jan. 2025.

WHO (org.). **Guidelines for drinking-water quality**. Fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization, 2022.