UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

LORENA RAYSSA CUNHA FRANÇA

MODELO CONCEITUAL PARA CONTROLE E VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES RURAIS

CAMPINA GRANDE – PB
2026

LORENA RAYSSA CUNHA FRANÇA

MODELO CONCEITUAL PARA CONTROLE E VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES RURAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Área de Concentração: Engenharia de Recursos Naturais
Linha de Pesquisa: Saneamento Ambiental
Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Hermínio Cunha
Co – Orientador: Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos

CAMPINA GRANDE – PB
2026

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Sistema de Bibliotecas - SISTEMOTECA
Catalogação de Publicação na Fonte. UFCG - Biblioteca Central

F814m França, Lorena Rayssa Cunha.

Modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano em comunidades rurais / Lorena Rayssa Cunha França. – 2026.

160 f. : il. color.

Tese (doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2026.

"Orientação: Profa. Dra. Patrícia Hermínio Cunha. Dr. Whelton Brito dos Santos".

Referências.

1. Abastecimento de Água. 2. Áreas Rurais. 3. Vigilância. 4. Qualidade da Água. 5. Portaria de Potabilidade. 6. Saneamento Ambiental. I. Cunha, Patrícia Hermínio. II. Santos, Whelton Brito dos. III. Título.

UFCG/BC CDU 628.1(043.2)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA ITAPUANA SOARES DIAS GONÇALVES CRB-15/93

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

Lorena Rayssa Cunha França

“MODELO CONCEITUAL PARA CONTROLE E VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES RURAIS”

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de Doutor (a) Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 20/08/2026

Dr.(a.) **Patrícia Hermínio Cunha** (Orientadora PPGEGRN).

Dr.(a.) **Whelton Brito dos Santos**(Coorientador).

Dr.(a.) **Viviane Farias Silva** (Examinadora Interna).

Dr.(a.) **Vera Lucia Antunes de Lima**(Examinadora Interna).

Dr.(a.) **Maria Cristina de Almeida Silva** (Examinadora Externa).

Dr.(a.) **Gustavo Carvalhaes Xavier Martins Pontual Machado** (Examinador Externo).

Documento assinado eletronicamente por **PATRICIA HERMINIO CUNHA FEITOSA**, **PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/08/2026, às 19:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA**, **PROFESSOR(A) DO**

MAGISTERIO SUPERIOR, em 24/08/2026, às 15:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA**, **COORDENADORA DE PÓS GRADUAÇÃO**, em 26/08/2026, às 08:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **Whelton Brito dos Santos**, **Usuário Externo**, em 26/08/2026, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Carvalhaes Xavier Martins Pontual Machado**, **Usuário Externo**, em 26/08/2026, às 11:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **Maria Cristina de Almeida Silva**, **Usuário Externo**, em 26/08/2026, às 16:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade, informando o código verificador **6701954** e o código CRC **BDE973D4**.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata da vigésima sexta sessão pública de Defesa de **Tese** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao vinte dias do mês de agosto de 2026, às **09:30** horas**, no formato híbrido** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação "Stricto Sensu" da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Prof.(a.) Dr.(a) **Patrícia Hermínio Cunha**, como orientador(a) principal; Prof.(a.) Dr.(a.) **Whelton Brito dos Santos,** como coorientador; Prof.(a.) Dr.(a.) **Viviane Farias Silva/PPGERGN** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a.) **Vera Lucia Antunes de Lima/PPGEGRN** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a) **Maria Cristina de Almeida Silva/UFRGS**, como membro externo; Prof.(a.) Dr.(a) **Gustavo Carvalhaes Xavier Martins Pontual Machado/UFRJ**, como membro externo, a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 54/2026** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com **Lorena Rayssa Cunha França** candidato(a) ao Grau de **Doutor(a)** em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dr(a). **Patrícia Hermínio Cunha**, anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da **tese** sob o título: **"MODELO CONCEITUAL PARA CONTROLE E VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES RURAIS"** Área de Concentração: **Engenharia de Recursos Naturais,** orientada pelo(a) Professor(a) Dra. **Patrícia Hermínio Cunha**. O(A) presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembleia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADA**, o qual será atribuído após A candidata, no prazo máximo de 30 (trinta) dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pela Coordenadora, pela candidata e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande, 20/08/2026.

Assinaturas:

Coordenadora do PPGEGRN _____

Candidato(a)_____

Presidente _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____

Documento assinado eletronicamente por **PATRICIA HERMINIO CUNHA FEITOSA**, **PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/08/2026, às 19:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA**, **PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/08/2026, às 15:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA**, **COORDENADORA DE PÓS GRADUAÇÃO**, em 26/08/2026, às 08:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Carvalhaes Xavier Martins Pontual Machado**, **Usuário Externo**, em 26/08/2026, às 11:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **Whelton Brito dos Santos**, **Usuário Externo**, em 26/08/2026, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **Maria Cristina de Almeida Silva**, **Usuário Externo**, em 26/08/2026, às 16:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **Lorena Rayssa Cunha França**, **Usuário Externo**, em 14/09/2026, às 10:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade, informando o código verificador **6701834** e o código CRC **9085FFF4**.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Maria de Lourdes, e aos meus irmãos, Regina, Nadir e Rodrigo, que sempre foram meus exemplos de vida e me incentivaram, com muito amor, até o fim desta jornada. Foi na vida ao lado deles que aprendi que o estudo poderia me levar a lugares incríveis, proporcionar grandes conquistas e me permitir realizar os meus sonhos. E eu consegui. Conseguimos.

A todos os meus amigos que me apoiaram nos momentos mais difíceis desses últimos anos. Alguns à distância, outros de perto, mas sempre presentes, incentivando-me, torcendo por mim e me ajudando a permanecer forte para concluir esta etapa.

Aos meus orientadores, Patrícia e Whelton, por uma parceria que começou há dez anos e que tive a grata oportunidade de repetir durante o meu doutorado. Obrigada por acreditarem neste trabalho e no meu potencial, por me auxiliarem sempre que precisei e por todos os ensinamentos que levarei para a vida profissional e pessoal.

À banca avaliadora, composta pelos professores Maria Cristina, Gustavo, Vera e Viviane, por aceitarem o convite e acompanharem este trabalho desde a qualificação até a defesa final, contribuindo, por meio de suas considerações e sugestões, para o seu aprimoramento.

A toda a equipe envolvida no desenvolvimento dos Planos de Segurança da Água (PSA) e dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), pela parceria em tantos momentos de trabalho, convivência e aprendizado. Compartilhamos dias alegres e, também, momentos difíceis, muitas vezes longe de casa, que tornaram essa trajetória ainda mais marcante. Tenho muito orgulho de tudo o que construímos juntos.

RESUMO

As soluções de abastecimento de água adotadas em áreas rurais muitas vezes apresentam limitações técnicas, logísticas e financeiras para o controle e a vigilância da qualidade da água, podendo resultar em riscos à saúde da população. No Brasil, experiências de gestão compartilhada, como a Central de Associações, na Bahia, e o Sistema Integrado de Saneamento Rural (Sisar), no Ceará, Piauí e Pernambuco, têm contribuído para o fornecimento de água tratada nessas áreas. Entretanto, ainda persistem desafios relacionados ao atendimento à Portaria GM/MS nº 888/2021 e aos demais normativos aplicáveis à qualidade da água. Nesse contexto, o presente estudo objetivou propor um modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água fornecida por sistemas e soluções de abastecimento em comunidades rurais dos municípios de Aracati/CE, Crateús/CE, Tauá/CE e Tianguá/CE. Inicialmente, foram identificadas as fragilidades dos sistemas e soluções e o atendimento aos normativos, por meio da análise integrada de dados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), dos Planos de Segurança da Água (PSA) e de bibliografias associadas às áreas de estudo. Em seguida, aplicou-se o método Analytic Hierarchy Process (AHP) para priorização dos parâmetros de qualidade da água, subsidiando a elaboração dos planos de monitoramento e a análise de sua viabilidade técnica e econômico-financeira. Os resultados da análise das fragilidades evidenciaram ausência ou baixas concentrações de cloro residual livre nas redes de distribuição e concentrações de nitrato de até 97,1 mg/L na água bruta dos mananciais subterrâneos avaliados. Na AHP, o critério potabilidade e saúde pública apresentou o maior peso (56%), e o grupo G1, composto por parâmetros sentinelas, foi prioritário em todos os contextos avaliados. Quanto à sustentabilidade econômico-financeira, nove dos dez casos estudados apresentaram déficit para custear as ações de monitoramento, sendo o sistema de abastecimento Lagoa dos Encantos o único superavitário, em função de sua maior capacidade de diluição dos custos e arrecadação. Concluiu-se que o modelo constitui uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, permitindo adaptar o monitoramento aos diferentes contextos do abastecimento rural, embora sua implementação e manutenção demandem subsídios, fontes de financiamento e o compartilhamento de responsabilidades entre os atores envolvidos no controle e na vigilância da qualidade da água.

Palavras-chave: abastecimento de água, áreas rurais, vigilância, qualidade da água, portaria de potabilidade.

ABSTRACT

Water supply solutions adopted in rural areas often face technical, logistical, and financial limitations regarding water quality control and surveillance, potentially posing risks to public health. In Brazil, shared management experiences, such as the Central de Associações in Bahia and the Sistema Integrado de Saneamento Rural (Sisar) in Ceará, Piauí, and Pernambuco, have contributed to the provision of treated water in these areas. However, challenges remain regarding compliance with Ordinance GM/MS No. 888/2021 and other regulations applicable to water quality. In this context, this study aimed to propose a conceptual model for the control and surveillance of the quality of water supplied by water supply systems and solutions in rural communities located in the municipalities of Aracati, Crateús, Tauá, and Tianguá, Ceará, Brazil. Initially, weaknesses in the systems and solutions and their compliance with regulatory requirements were identified through an integrated analysis of data from the Water Quality Surveillance Information System for Human Consumption (Sisagua), Water Safety Plans (WSPs), and literature related to the study areas. Subsequently, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied to prioritize water quality parameters, supporting the development of monitoring plans and the assessment of their technical and economic-financial feasibility. The analysis of weaknesses revealed the absence or low concentrations of free residual chlorine in distribution networks and nitrate concentrations of up to 97.1 mg/L in the raw water from the groundwater sources evaluated. In the AHP analysis, the potability and public health criterion received the highest weight (56%), while Group G1, comprising sentinel parameters, was prioritized across all evaluated contexts. Regarding economic-financial sustainability, nine of the ten cases studied showed financial deficits in covering monitoring costs, with the Lagoa dos Encantos water supply system being the only one to show a surplus, due to its greater capacity to distribute costs across a larger revenue base. It was concluded that the proposed model constitutes a decision-support tool that enables monitoring strategies to be adapted to different rural water supply contexts, although its implementation and maintenance require subsidies, funding sources, and shared responsibilities among the stakeholders involved in water quality control and surveillance.

Keywords: water supply; rural areas; water quality surveillance; water quality; drinking-water standards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura organizacional da Central 32
Figura 2 - Estrutura organizacional do Sisar 34
Figura 3 - Estrutura da metodologia da pesquisa 55
Figura 4 - Localização das comunidades rurais da pesquisa 56
Figura 5 – Análises da qualidade de água nas comunidades rurais situadas em Aracati/CE (a), Crateús/CE (b), Tauá/CE (c) e Tianguá/CE (d). 58
Figura 6 – Oficinas participativas realizadas em Aracati/CE, nas comunidades rurais Lagoa da Cruz (a), Lagoa do Juá (b), Venâncio (c) e Cantinho (d). 59
Figura 7 – Oficinas participativas realizadas em Crateús/CE, nas comunidades rurais Carrapateira (a) e Realejo (b). 60
Figura 8 – Oficinas participativas realizadas em Tauá/CE, nas comunidades rurais Calumbi (a) e Santo Antônio (b). 60
Figura 9 – Oficinas participativas realizadas em Tianguá/CE, nas comunidades rurais Acarape (a) e Tabocas (b). 60
Figura 10 - Estação de Tratamento de Água do SAA Lagoa dos Encantos 61
Figura 11 - Estação de Tratamento de Água, filtro descendente (a), clorador (b) e reservatório (c) do SAA Lagoa do Juá 63
Figura 12 - Poço tubular, clorador (a) e reservatório de distribuição (b) do SAA da comunidade Venâncio 65
Figura 13 - Chafarizes que atendem a comunidade Cantinho 66
Figura 14 – Poço tubular, cloradores (a) e reservatórios de distribuição (b) do sistema de Carrapateira 68
Figura 15 - Estação de tratamento (a) e reservatórios de distribuição (b) do SAA da comunidade Realejo 70
Figura 16 - Clorador (a) e reservatório de distribuição (b) do sistema da comunidade Santo Antônio 71
Figura 17 - Captação e clorador do sistema da comunidade Calumbi 73
Figura 18 – ETA do sistema da comunidade Calumbi 73
Figura 19 - Clorador 74
Figura 20 – Reservatórios do SAA Acarape 75

Figura 21 - Clorador (a) e reservatório de distribuição (b) do sistema da comunidade Tabocas 76
Figura 22 – Níveis hierárquicos..... 80
Figura 23 - Distribuição de registros de monitoramento urbanos e rurais em Aracati/CE 92
Figura 24 - Conformidade dos parâmetros na área rural de Aracati/CE 93
Figura 25 - Distribuição de registros de monitoramento urbanos e rurais em Crateús/CE 104
Figura 26 - Conformidade dos parâmetros na área rural de Crateús/CE..... 105
Figura 27 - Distribuição de registros de monitoramento urbanos e rurais em Tauá/CE 108
Figura 28 - Conformidade dos parâmetros na área rural de Tauá/CE 109
Figura 29 - Distribuição de registros de monitoramento urbanos e rurais em Tianguá/CE ... 112
Figura 30 - Conformidade dos parâmetros na área rural de Tianguá/CE..... 113
Figura 31 - Pesos de priorização dos critérios..... 117
Figura 32 - Pesos de priorização dos grupos de parâmetros por contexto 118
Figura 33 – Estrutura do modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água em comunidades rurais..... 130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atendimento das Centrais 31
Tabela 2 - Atendimento do Sisar 33
Tabela 3 – Itens regulamentados em normativos internacionais 44
Tabela 4 - Índice de consistência randômico médio de acordo com a ordem da matriz 86
Tabela 5 – Comparação dos critérios 86
Tabela 6 – Modelo comparação de parâmetros para cada critério nos contextos 87
Tabela 7 - Quantitativo e caracterização dos dados da área rural de Aracati/CE 92
Tabela 8 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Lagoa dos Encantos 93
Tabela 9 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Lagoa do Juá 96
Tabela 10 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Venâncio 98
Tabela 11 - Análise dos dados da qualidade da água do PSA dos SACs Cantinho 102
Tabela 12 - Quantitativo e caracterização dos dados da área rural de Crateús/CE 104
Tabela 13 - Análise dos dados da qualidade da água do PSA dos SAA Carrapateira 106
Tabela 14 - Análise dos dados da qualidade da água do PSA dos SAA Realejo 107
Tabela 15 - Quantitativo e caracterização dos dados da área rural de Tauá/CE 109
Tabela 16 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Santo Antônio 110
Tabela 17 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Calumbi 111
Tabela 18 - Quantitativo e caracterização dos dados da área rural de Tianguá/CE 112
Tabela 19 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Acarape 114
Tabela 20 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Tabocas 115
Tabela 21 – Dados operacionais dos SAAs e SAC 124
Tabela 22 – Estruturas tarifárias dos SAAs e SAC 124
Tabela 23 – Custos de implementação dos planos de monitoramento 126
Tabela 24 - Valores das análises laboratoriais 160
Tabela 25 – Valores para mobilização 160

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização do atendimento e déficit de acesso ao abastecimento de água 26
Quadro 2 - Informações das comunidades rurais do estado do Ceará 57
Quadro 3 - Exemplos de contextos a serem elaborados 82
Quadro 4 - Escala para julgamentos 84
Quadro 5 – Diretrizes adotadas para elaboração do plano de monitoramento 88
Quadro 6 – Informações utilizadas para análise do custo e sustentabilidade financeira 89
Quadro 7 – Planos de monitoramento para SAAs e SAC das comunidades rurais do Ceará 122

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

ACS – Agente Comunitário de Saúde

ADWG – Australian Drinking Water Guidelines

AESBE – Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento

AHP – Analytic Hierarchy Process

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

APPCC – Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle

ARPANSA – Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency

BAJ – Bacia do Alto Jaguaribe

BBJ – Bacia do Baixo Jaguaribe

BPA – Bacia do Parnaíba

CAAE – Certificado de Apresentação de Apreciação Ética

CEP – Comitê de Ética em Pesquisa

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CRL – Cloro Residual Livre

CT – Coliformes Totais

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento

EPA/USEPA – United States Environmental Protection Agency

ETA – Estação de Tratamento de Água

EUA – Estados Unidos da América

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

GDWQ – Guidelines for Drinking-water Quality

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Índice de Consistência

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IR – Índice de Consistência Randômico

MS – Ministério da Saúde

NHMRC – National Health and Medical Research Council

NICNAS – National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme

NPDWR – National Primary Drinking Water Regulations

NSDWR – National Secondary Drinking Water Regulations

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONG – Organização Não Governamental

ONU – Organização das Nações Unidas

OPAS – Organização Pan-Americana da Saúde

P1MC – Programa Um Milhão de Cisternas

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PAD – Programa Água Doce

PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

PNCSA – Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

PNSR – Programa Nacional de Saneamento Rural

PPGEGRN – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais

PRC – Portaria de Consolidação

PSA – Plano de Segurança da Água

PSBR – Programa Saneamento Brasil Rural

PVC – Policloreto de Vinila

RC – Razão de Consistência

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SAC – Solução Alternativa Coletiva

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SDWA – Safe Drinking Water Act

SINISA – Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico

SISAGUA – Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano

SISAR – Sistema Integrado de Saneamento Rural

SOHIDRA – Superintendência de Obras Hidráulicas

SUS – Sistema Único de Saúde

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TED – Termo de Execução Descentralizada

UE – União Europeia

UEA – Universidade do Estado do Amazonas

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UNECE – United Nations Economic Commission for Europe

UNICEF – United Nations Children's Fund

VMP – Valor Máximo Permitido

WASH – Water, Sanitation and Hygiene

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL 16

1.1 Hipóteses 18

1.2 Inovação e ineditismo 19

1.3 Aspectos socioeconômicos e ambientais 19

1.4 Objetivos do desenvolvimento sustentável 20

2. OBJETIVOS 22

2.1 Objetivo geral 22

2.2 Objetivos específicos 22

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 23

3.1 O arcabouço do saneamento rural no Brasil e seus avanços 23

3.2 O acesso ao serviço de abastecimento de água nas áreas rurais 25

3.2.1 Modelos de gestão para o serviço de abastecimento de água em áreas rurais 28

3.2.2 Central de Associações – Central 30

3.2.3 Sistema Integrado de Saneamento Rural – Sisar 32

3.3 Principais problemáticas relacionadas a qualidade da água nas áreas rurais brasileiras 35

3.4 Normativos da qualidade da água para consumo humano 37

3.4.1 Contexto internacional do controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano 38

3.4.2 Conjuntura dos normativos no Brasil 47

3.4.2.1 Resoluções sobre a qualidade das águas brutas superficiais e subterrâneas 47

3.4.2.2 Portarias de potabilidade da água para consumo humano 48

3.5 Planos de Segurança da Água 50

3.5.1 Abordagem dos Planos de Segurança da Água em áreas rurais 52

4 MATERIAL E MÉTODOS 55

4.1 Entradas do modelo 55

4.1.1 Caracterização da área de estudo 56

4.1.1.1 Aracati 61

4.1.1.2 Crateús 67

4.1.1.3 Tauá 70

4.1.1.4 Tianguá 74

4.1.2 Avaliação das fragilidades do serviço de abastecimento nas comunidades 76
4.1.2.1 Levantamento e organização dos dados 77
4.1.2.2 Tratamento e análise dos dados 78
4.1.2.3 Identificação das fragilidades 79
4.2 Priorização dos parâmetros da qualidade da água 79
4.2.1.1 Estruturação do problema 80
4.2.1.2 Definição de critérios 80
4.2.1.3 Construção dos contextos 81
4.2.1.4 Grupos de parâmetros 82
4.2.1.5 Julgamentos comparativos 84
4.2.1.6 Consistência lógica 85
4.2.1.7 Questionário 86
4.3 Análise técnica e econômico-financeira para monitoramento da qualidade da água 87
4.3.1 Elaboração dos planos de monitoramento 87
4.3.2 Custos e sustentabilidade financeira do monitoramento da qualidade da água 89
4.4 Estruturação do modelo conceitual final 90
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 91
5.1 Avaliação das fragilidades e desafios do serviço de abastecimento de água 91
5.1.1 Aracati 91
5.1.1.1 SAA Lagoa dos Encantos 93
5.1.1.2 SAA Lagoa do Juá 95
5.1.1.3 SAA Venâncio 97
5.1.1.4 SAC Cantinho 100
5.1.2 Crateús 103
5.1.2.1 SAA Carrapateira 105
5.1.2.2 SAA Realejo 106
5.1.3 Tauá 108
5.1.3.1 SAA Santo Antônio 109
5.1.3.2 SAA Calumbi 110
5.1.4 Tianguá 112
5.1.4.1 SAA Acarape 113
5.1.4.2 SAA Tabocas 114
5.2 Priorização dos parâmetros da qualidade da água 116

5.2.1 Priorização dos critérios 116
5.2.2 Priorização dos parâmetros por contextos de abastecimento de água rural 117
5.3 Análise técnica e econômico-financeira para monitoramento da qualidade da água 120
5.3.1 Planos de monitoramento 120
5.3.2 Custos e sustentabilidade financeira do monitoramento da qualidade da água .. 124
5.4 Estruturação do modelo conceitual final 128
6 CONCLUSÕES 131
7. RECOMENDAÇÕES 132
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 133
APÊNDICE A 144
APÊNDICE B 149
ANEXO A 160

1. INTRODUÇÃO GERAL

A universalização do acesso à água potável e ao saneamento constitui um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), que busca garantir o acesso equitativo à água segura para todos até 2030. Entretanto, cerca de 2 bilhões de pessoas ainda não dispõem de serviços de abastecimento de água potável geridos de forma segura, indicando que as metas globais dificilmente serão alcançadas sem a ampliação dos investimentos em saneamento (WHO/UNICEF, 2021). No Brasil, 84,1% da população possui acesso ao abastecimento de água tratada, o que representa aproximadamente 33 milhões de habitantes sem esse serviço. As maiores deficiências concentram-se nas regiões Norte e Nordeste, cujos índices de atendimento são de 62,8% e 73,7%, respectivamente (SINISA, 2024).

O serviço de abastecimento de água nas áreas rurais do Brasil ainda é considerado precário, situação que contribui para a degradação da saúde e qualidade de vida da população nesse meio. De acordo com a Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE), aproximadamente 15,0% da população brasileira reside em áreas rurais e destas, apenas 29,6% é abastecida com água tratada. Nas áreas rurais da região Norte, o acesso à água potável é de apenas 19,8% e no Nordeste cerca de 28,9% (AESBE, 2023). Diante desse cenário, o abastecimento nas áreas rurais ocorre predominantemente por meio de soluções alternativas individuais ou coletivas, como cisternas, chafarizes e dessalinizadores destinados ao consumo humano, nem sempre acompanhadas do tratamento adequado.

A elaboração do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), uma parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais e a Funasa, atualmente denominado Programa Saneamento Brasil Rural (PSBR), resultou em diretrizes e estratégias para ações em áreas rurais na busca da universalização do saneamento básico em um horizonte de 20 anos. Entre os objetivos do PNSR, está a intensificação do controle da qualidade da água para consumo humano em sistemas e soluções alternativas coletivas e individuais de abastecimento. As propostas do programa visam o monitoramento de poços, rios e lagos que abastecem comunidades rurais, bem como a implementação do Plano de Segurança da Água, instrumento preconizado pela OMS (Brasil, 2019).

Alguns estados do Nordeste vêm se destacando na gestão do abastecimento rural por meio de modelos de gestão compartilhada de sistemas de abastecimento de água, constituindo experiências exitosas que têm contribuído para ampliar o acesso à água tratada e fortalecer a prestação dos serviços. A primeira experiência de gestão compartilhada aconteceu na Bahia,

com a implementação da Central de Associações no ano de 1995 na região de Seabra. A Central atende mais duas regiões do estado e é considerado um modelo de autogestão autônomo e participativo, que reduziu a dependência de recursos públicos para garantir a qualidade dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em comunidades rurais (Queiroz et al., 2023).

O Sistema Integrado de Saneamento Rural (Sisar) é baseado no modelo da Central, sendo criado no ano de 1996 no estado do Ceará e posteriormente replicado no Piauí e em Pernambuco. O Sisar é uma organização não governamental responsável pela gestão dos serviços de abastecimento de água em comunidades rurais, também a partir de um modelo autogerido e compartilhado com as associações de moradores. O Sisar do Ceará atua no estado por meio de oito regionais e possuía mais de 1 milhão de usuários em 2024. A estrutura organizacional do Sisar é composta por equipes que atendem demandas técnicas e realizam atividades administrativas, financeiras e sociais, sendo considerado um modelo consolidado (Ceará, 2021).

Embora os modelos de gestão compartilhada implantados na Bahia e no Ceará sejam reconhecidos como experiências consolidadas e exitosas na ampliação do acesso à água tratada em comunidades rurais, ainda existem desafios relacionados ao controle e à vigilância da qualidade da água distribuída. Lacerda et al. (2024) constataram que, mesmo em sistemas com gestão compartilhada, como a Central e o Sisar, foram registradas inconformidades para os parâmetros cloro residual livre (30,3%) e *Escherichia coli* (29,1%) nos dados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), entre 2014 e 2023. Estados com esses modelos de gestão, como Ceará e Piauí, ainda apresentam elevadas taxas de incidência de doenças diarreicas agudas.

Em 2024, o Brasil registrou 336.165 internações e 4.877 óbitos associados a essas doenças de veiculação hídrica. Na região Nordeste, foram contabilizadas 94.953 internações e 1.240 óbitos, enquanto o estado do Ceará, que possui 72,2% da população com acesso à água tratada, registrou 11.915 internações e 123 óbitos (SINISA, 2024). Esses indicadores evidenciam que as doenças relacionadas ao consumo de água contaminada ainda representam um importante problema de saúde pública, reforçando a necessidade de fortalecer as ações de controle, vigilância e monitoramento da qualidade, principalmente nas áreas rurais, onde persistem limitações técnicas, logísticas e financeiras para garantir a segurança da água para consumo humano, mesmo com acesso a água tratada.

O Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017 (PRC nº 5/2017) (Brasil, 2017), alterado pela Portaria GM/MS n° 888, de 04 de maio de 2021 (Brasil, 2021a), e pela Portaria GM/MS n° 2.472, de 28 de setembro de 2021 (Brasil, 2021b), é o normativo que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, aplicando-se a sistemas convencionais e soluções alternativas de abastecimento de água, tanto para zona urbana quanto para zona rural de um município. Estabelece as competências e responsabilidades, desde os prestadores do serviço até a União, e, também, indica a implementação do Plano de Segurança da Água (PSA).

Diante do exposto, o presente estudo propôs um modelo conceitual para o controle e a vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano em comunidades rurais do estado do Ceará, inseridas no semiárido brasileiro. Os modelos conceituais são representações simplificadas de um sistema, que descrevem seu funcionamento e seus principais componentes (Gupta et al., 2012).

A elaboração do modelo foi motivada pela necessidade de integrar, em uma estrutura lógica, as particularidades dos diferentes contextos de abastecimento rural, os riscos à qualidade da água, os requisitos normativos e as limitações técnicas e financeiras, de modo a subsidiar a definição de estratégias de monitoramento adequadas. Para sua estruturação, foram consideradas as características e fragilidades dos serviços de abastecimento, as exigências estabelecidas nos normativos referentes à qualidade da água bruta e tratada e as limitações enfrentadas pelos prestadores de serviço para o seu cumprimento. Foram utilizados métodos e instrumentos voltados à análise de dados provenientes de sistemas nacionais de informação, à hierarquização e priorização dos parâmetros de qualidade da água e à avaliação da viabilidade técnica e econômico-financeira dos planos de monitoramento, visando à definição de estratégias compatíveis com as necessidades das comunidades rurais e com a sustentabilidade dos serviços.

1.1 Hipóteses

O modelo conceitual proposto se baseia no Anexo XX da PRC nº 5/2017 do MS, alterado pela Portaria GM/MS n° 888/2021 e pela Portaria GM/MS n° 2.472/2021, como principal referência para o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano, em conjunto com os demais normativos aplicáveis à qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Entretanto, considerando particularidades do serviço de abastecimento rural no Ceará, pressupõe-se que a aplicação das atuais exigências normativas pode necessitar de uma

estratégia eficiente para definir o plano de monitoramento que atenda a todos os contextos existentes. Nesse sentido, foram estabelecidas as seguintes hipóteses para a pesquisa:

- A definição dos parâmetros de monitoramento da qualidade da água deve considerar as características, fragilidades e riscos dos diferentes contextos de abastecimento rural, não sendo adequada uma abordagem uniforme;
- A priorização multicritério permite direcionar o monitoramento aos parâmetros mais relevantes para cada contexto de abastecimento, considerando a potabilidade e saúde pública, a viabilidade técnica e operacional e a sustentabilidade financeira;
- As ações de controle e vigilância da qualidade da água em comunidades rurais dependem da atuação integrada entre prestadores de serviço, órgãos de vigilância e demais instituições envolvidas, sendo a gestão compartilhada fundamental para a efetividade do monitoramento.

1.2 Inovação e ineditismo

O caráter inovador deste trabalho está na proposição de uma abordagem contextualizada para o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano em comunidades rurais inseridas no semiárido brasileiro, reconhecendo que as estratégias de monitoramento não devem ser definidas de maneira uniforme. O modelo considera diferentes configurações, associadas às modalidades de abastecimento e ao tipo de manancial, além das fragilidades e riscos identificados, permitindo adequar os parâmetros e as estratégias de monitoramento às especificidades de cada contexto.

O ineditismo também está relacionado à integração, em uma única estrutura lógica e sistemática, de diferentes dimensões que condicionam o monitoramento proposto. O modelo articula a caracterização e as fragilidades dos sistemas e soluções de abastecimento, os requisitos normativos, a priorização multicritério dos parâmetros de qualidade da água e a elaboração dos planos de monitoramento, incorporando ainda a análise da viabilidade técnica e da sustentabilidade econômico-financeira para sua implementação.

1.3 Aspectos socioeconômicos e ambientais

No âmbito social, a pesquisa está diretamente relacionada à segurança da qualidade da água para consumo humano e à proteção da saúde das populações abastecidas por soluções ou sistemas rurais, considerando as desigualdades ainda existentes no acesso à água tratada e as fragilidades no controle e na vigilância da qualidade. Ao propor estratégias de monitoramento

adaptadas aos diferentes contextos de abastecimento, o modelo busca contribuir para a identificação de riscos e inconformidades que possam comprometer a potabilidade da água, subsidiando ações preventivas nos serviços prestados às comunidades rurais.

Sob a perspectiva econômica, o estudo considera as limitações financeiras enfrentadas pelos prestadores de serviços de abastecimento rural para atender às exigências de monitoramento de acordo com normativos vigentes. A avaliação da viabilidade técnica, dos custos e da sustentabilidade econômico-financeira demonstrou diferenças expressivas entre os sistemas, sobretudo em função do número de ligações e da capacidade de arrecadação, evidenciando maior dificuldade para a manutenção do monitoramento nos sistemas de menor porte ou soluções que ainda não possuem uma estrutura tarifária eficiente. Nesse sentido, a pesquisa reforça a importância de estratégias como subsídios, fontes complementares de financiamento e compartilhamento de responsabilidades para viabilizar o controle da qualidade da água nessas áreas

Quanto aos aspectos ambientais, a pesquisa incorpora as características e a qualidade dos mananciais superficiais e subterrâneos como elementos para a definição das estratégias de monitoramento. A identificação de alterações na qualidade da água bruta, especialmente nos mananciais subterrâneos, evidencia a influência do uso e ocupação do solo e das fontes de contaminação sobre a segurança da qualidade da água.

1.4 Objetivos do desenvolvimento sustentável

Os resultados e contribuições desta pesquisa apresentam relação com diferentes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente aqueles associados à saúde, ao acesso à água segura, à redução das desigualdades e à articulação institucional. Nesse contexto, destacam-se:

- ODS 3 – Saúde e Bem-Estar: a garantia da qualidade da água para consumo humano é essencial para a proteção da saúde pública e para a prevenção de doenças associadas à água. Essa contribuição está especialmente vinculada às Metas 3.3 e 3.9, ao propor estratégias de controle e vigilância que possibilitam identificar riscos e inconformidades microbiológicas e físico-químicas, contribuindo tanto para o enfrentamento de doenças transmitidas pela água quanto para a redução dos riscos à saúde decorrentes da contaminação dos mananciais e da água destinada ao consumo humano;
- ODS 6 – Água Potável e Saneamento: o modelo proposto busca contribuir com o controle e a vigilância da qualidade da água e para a segurança do abastecimento em

comunidades rurais. Essa contribuição está associada à Meta 6.1, ao buscar apoiar o acesso equitativo à água potável e segura; à Meta 6.3, ao incorporar a avaliação da qualidade da água e dos riscos de contaminação dos mananciais; à Meta 6.5, ao propor uma abordagem integrada que considera diferentes componentes e atores envolvidos na gestão da água; e à Meta 6.b, ao valorizar a participação e a atuação compartilhada entre comunidades, prestadores de serviços e instituições responsáveis pelo abastecimento;

- ODS 10 – Redução das Desigualdades: a pesquisa possui uma abordagem direcionada às comunidades rurais, que ainda enfrentam desigualdades no acesso à água tratada e limitações técnicas, operacionais e financeiras para o controle e vigilância de sua qualidade. Nesse sentido, destaca-se a relação com a Meta 10.2, ao considerar as particularidades e vulnerabilidades desses contextos e propor estratégias de monitoramento adaptadas às suas condições, contribuindo para ampliar a equidade no acesso à água segura e reduzir as disparidades entre os serviços de abastecimento;
- ODS 17 – Parcerias e Meios de Implementação: reconhece que o controle e a vigilância da qualidade da água em comunidades rurais dependem da articulação entre diferentes atores e instituições. Essa contribuição está especialmente associada à Meta 17.17, o incentivar e promover parcerias públicas, público-privadas e com a sociedade civil, aproveitando a experiência e as estratégias de mobilização de recursos dessas parcerias.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Elaborar um modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano em comunidades rurais do estado do Ceará.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o atendimento à Portaria GM/MS nº 888/2021 e as fragilidades dos serviços de abastecimento de água rural do estado do Ceará;
- Estabelecer a priorização dos parâmetros da qualidade da água que devem ser monitorados nos contextos de abastecimento identificados nas comunidades rurais;
- Analisar a viabilidade técnica e financeira para cumprimento de um plano de monitoramento nos sistemas e soluções de abastecimento rurais;
- Estruturar um modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano nas comunidades rurais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O arcabouço do saneamento rural no Brasil e seus avanços

O Brasil precisa alcançar as metas da universalização do saneamento básico até o ano de 2033. O país busca por avanços no saneamento rural nas últimas décadas, por meio de leis, decretos, planos, projetos e programas elaborados pelo Governo Federal e suas parcerias. Porém, segundo Ferreira et al. (2021), o planejamento de ações voltadas para o saneamento básico em áreas rurais enfrenta vários desafios que impõem dificuldades a sua consolidação e obstáculos a sua incorporação nas agendas locais, entre elas a falta de clareza sobre as competências das instâncias para o planejamento e a gestão das áreas urbanas e rurais de forma integrada.

O primeiro Projeto Nacional de Saneamento Rural (PNSR) foi elaborado em 1986 e é considerado uma iniciativa inédita para o planejamento do saneamento rural do país. Segundo Roland et al. (2022), a formulação do PNSR promoveu um novo aporte de conhecimentos ao setor, com inovações no que se refere à abordagem sobre saneamento básico nessas áreas, especialmente em sua integração à saúde, aos processos de educação e participação social, à descentralização dos serviços, ao emprego de tecnologias apropriadas e ao envolvimento comunitário na gestão dos serviços. Embora não tenha sido efetivado como um programa de governo, o PNSR deixou como legado uma vasta contribuição sob a forma de estudos, ainda hoje pertinentes.

A Lei Federal nº 11.445, também conhecida como lei do saneamento, instituída em 5 de janeiro de 2007, estabelece as diretrizes para a Política Federal do Saneamento Básico. No Art. 48, inciso VII, a lei determina que a União deverá garantir meios adequados para atendimento da população rural dispersa, mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais. Consta no Art. 49, inciso IV, que um dos objetivos da política do saneamento é proporcionar condições adequadas de salubridade ambiental às populações rurais e às pequenas comunidades (Brasil, 2007). Ademais, a lei também impõe a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) que, segundo a Fundação Nacional de Saúde (Funasa), precisa propor programas, projetos e ações para o urbano e o rural de um município, mediante soluções compatíveis com as características socioculturais e ambientais de cada realidade (Funasa, 2018).

No ano de 2020 foi instituída a Lei Federal nº 14.026, que atualizou o marco legal do saneamento básico, atribuindo à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a

competência para instituir normas de referência para regulação dos serviços públicos de saneamento e a alteração de algumas diretrizes da Lei nº 11.445/2007. Fica estabelecido no Art. 11-B da Lei nº 14.026/2020 que os prestadores dos serviços de saneamento deverão definir metas de universalização em seus contratos, a fim de garantir atendimento de 99,9% da população com água potável e 90,0% da população com coleta e tratamento de esgotos até 2033. Também deverão ser metas dos prestadores a não intermitência do abastecimento, a redução de perdas e a melhoria dos processos de tratamento (Brasil, 2020). As metas definidas pela atualização do marco legal mostram-se desafiadoras diante do atual cenário do saneamento básico no Brasil, principalmente quando o acesso aos serviços no meio rural ainda é inexistente ou precário.

A Lei nº 14.026/2020 manteve as diretrizes para adoção de meios adequados para atendimento e garantia da salubridade ambiental da população rural. Determina no Art. 13, inciso III, que a elaboração ou atualização dos planos regionais de saneamento deve considerar os ambientes rurais. Já no inciso IV do mesmo artigo, consta que a modelagem da prestação dos serviços para a população rural precisa ser baseada em estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental. No Art. 52, § 1º, foi inserido o inciso III, estabelecendo que o Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB precisa contemplar programa específico para ações de saneamento básico no meio rural (Brasil, 2020).

O Decreto nº 11.599, de 12 de julho de 2023, dispõe sobre a prestação regionalizada dos serviços públicos de saneamento básico. No Art. 10, inciso IV, o decreto reforça que a elaboração ou atualização dos planos municipais ou regionais de saneamento básico também deve contemplar os sistemas existentes no ambiente rural, com as seguintes metas: expansão do acesso aos serviços, redução de perdas na distribuição de água tratada; qualidade na prestação dos serviços; eficiência e uso racional da água, da energia e dos recursos naturais; reuso de efluentes sanitários; aproveitamento de águas de chuva; não intermitência do abastecimento; e melhoria nos processos de tratamento (Brasil, 2023).

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) foi elaborado pelo Governo Federal para planejamento integrado do saneamento no país, apresentando programas, ações e metas para atender às diversas demandas dos quatro componentes do saneamento no horizonte de 20 anos. Sua elaboração foi prevista na Lei nº 11.445/2007, a fim de servir como instrumento de implementação da Política Federal do Saneamento Básico. A última versão do plano foi publicada em 2019, sendo uma revisão dos documentos de 2014 e 2018, e apresentou o Programa de Saneamento Rural (PNSR), atualmente denominado Programa Saneamento Brasil

Rural (PSBR), desenvolvido pela Funasa em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

O PNSR surgiu devido à necessidade de avançar em termos conceituais e metodológicos, sobretudo na discussão do conceito de rural e na afirmação da indissociabilidade dos eixos estratégicos: gestão, tecnologia, educação e participação social. Possui uma revisão das definições tratadas no PLANSAB e está de acordo com os princípios da Lei nº 11.445/2007, e que precisam ser compatibilizadas para que ambos os instrumentos mantenham a necessária articulação para alcançar os objetivos comuns (Brasil, 2019a). O programa está voltado para promoção e desenvolvimento de ações de saneamento básico em áreas rurais com vistas à universalização do acesso, por meio de estratégias que garantam a equidade, a integralidade, a intersetorialidade, a sustentabilidade dos serviços, em presença de participação e de controle social (Brasil, 2019).

Para o serviço de abastecimento de água, o PNSR objetiva expandir o acesso a água tratada e apresenta diretrizes para intensificar o controle da qualidade da água para consumo humano em sistemas e soluções alternativas coletivas e individuais nas áreas rurais. Entre as propostas do programa estão o controle e o monitoramento de poços, rios e lagos que abastecem comunidades rurais, bem como a implementação do Plano de Segurança da Água (PSA), recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que avalia as vulnerabilidades de todo o sistema de abastecimento de água ou da solução alternativa, da captação da água bruta até o consumidor (Brasil, 2019).

3.2 O acesso ao serviço de abastecimento de água nas áreas rurais

A população rural brasileira, historicamente, foi marginalizada pelas ações do poder público voltadas ao saneamento. Enquanto as regiões urbanas, tipicamente adensadas, são marcadas por maior utilização de soluções de saneamento coletivas, predominando altas taxas de atendimento, especialmente para o abastecimento de água, localidades rurais são caracterizadas por complexa interação entre características climáticas e geográficas, densidade populacional, interação com áreas urbanas e disponibilidade financeira, que condicionam soluções muito variáveis (Rezende; Heller, 2008; Silva et al., 2019). Existe a priorização na instalação de sistemas de abastecimento de água convencionais nas aglomerações urbanas, restando para a população rural o atendimento de suas demandas por meio de soluções alternativas, individuais e coletivas, ou o carro-pipa.

O PNSR analisou o atendimento e o déficit no acesso aos serviços de saneamento básico nas áreas rurais do Brasil, de acordo com as premissas do Plansab (2013) e a perspectiva dos direitos humanos. Também considerou as informações disponíveis e as especificidades das áreas rurais brasileiras. Neste processo foram definidas as situações de atendimento dos serviços de saneamento básico, com os seguintes enquadramentos: atendimento adequado, atendimento precário e sem atendimento.

No Quadro 1 tem-se as características obtidas para o serviço de abastecimento de água. Importante destacar que, as cisternas de água de chuva aparecem no Censo Demográfico do IBGE (2010) como a forma principal de abastecimento de água, não sendo identificado pelo estudo outra forma complementar. Entretanto, o PNSR assume que esta é uma solução complementar, pois não é capaz de atender a todos os usos previstos para a água de consumo humano.

Quadro 1 - Caracterização do atendimento e déficit de acesso ao abastecimento de água

Atendimento adequado	**Déficit**	
	Atendimento precário	**Sem atendimento**
Representa a população que em todos os casos, não sofra com intermitência prolongada ou racionamento e: - Recebe água potável da rede de distribuição, com ou sem canalização interna; - Recebe água potável de poço ou nascente, com canalização interna; -Apresenta, como solução complementar às outras fontes, a água proveniente de cisterna de captação de água de chuva, com canalização interna.	Representado pela população que: - Recebe água da rede de distribuição, fora dos padrões de potabilidade e/ou com intermitência prolongada no fornecimento; - Recebe água de poço ou nascente, mas não possui canalização intradomiciliar, e/ou recebe água fora dos padrões de potabilidade e, ou, está sujeita a intermitência prolongada; - Utiliza água de cisterna de captação de água de chuva que forneça água sem segurança sanitária e/ou em quantidade insuficiente para a proteção à saúde; - Utiliza água de chafariz ou caixa abastecidos por carro pipa.	Todas as situações não enquadradas nas definições de atendimento e que se constituem em práticas consideradas inadequadas (ex.: coleta de água em cursos ou poços de longa distância).

Fonte: Adaptado de Plansab (2013) e PNSR (2019).

A partir deste contexto, foi constatado que apenas 40,5% da população em áreas rurais possui atendimento adequado de abastecimento de água, 33,5% com atendimento precário e

26,0% sem atendimento (Brasil, 2019). Os dados do PNSR comprovam que o déficit relacionado ao atendimento da população rural com água potável ainda é elevado e a meta da universalização está longe de ser alcançada nessas áreas.

A Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE) também estimou as populações rurais atendidas e não atendidas com serviços de abastecimento de água para o ano de 2021. Segundo a análise, apenas 29,6% da população rural brasileira possui abastecimento com água potável, valor abaixo do obtido pelo PNSR (2019). É preciso registrar dois pontos que podem justificar esta diferença entre as estimativas. Primeiramente, o SINISA se refere apenas ao atendimento por redes de distribuição de água. Além disso, os dados do sistema devem ser vistos com cautela, já que são fornecidos pelos prestadores de serviço com possíveis subnotificações de informações das áreas rurais dos municípios (AESBE, 2023).

Entre as ações que surgiram como soluções para atender as demandas por água potável das comunidades rurais do semiárido brasileiro podem ser evidenciados o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) e o Programa Água Doce (PAD), ambos mantidos pelo Governo Federal em articulação com a sociedade civil, governos estaduais e municipais. O P1MC tem como alternativa a construção de cisternas de placa para armazenamento da água de chuva e o PAD a instalação de sistemas de dessalinização via osmose reversa que permitem o aproveitamento de águas subterrâneas salinas e salobras (Cunha, 2020).

O P1MC é bem-sucedido em atingir suas metas de construção das cisternas, mas ainda são grandes os desafios relativos à oferta de água, tanto em termos da quantidade quanto da qualidade. Sobre os sistemas de dessalinização, algumas famílias das comunidades não aderiram à solução como principal fonte de água, por motivos como: grande distância de algumas casas até o chafariz onde a água é distribuída; desconfiança em relação ao processo de dessalinização; concorrência com outras fontes, como as cisternas; entre outros. Outro fator sobre os dessalinizadores, é que a qualidade da água depende do bom funcionamento dos equipamentos do sistema. Membranas desgastadas ou filtros mal manipulados comprometem a potabilidade da água (Cunha, 2020; Gomes; Heller, 2016).

Ainda que soluções alternativas possam ser adequadas, são reconhecidas as dificuldades para a gestão pública dessas soluções e a maior propensão de não atenderem aos padrões de potabilidade da água (Gomes; Heller, 2016). Na busca por solucionar estas problemáticas e garantir água em quantidade e qualidade adequada a população rural, surgiram experiências no Brasil que priorizaram a implementação de sistemas convencionais de abastecimento de água

em pequenas comunidades. Estas surgiram a partir das parcerias entre governos, empresas privadas, bancos internacionais, universidades, organizações sociais e associações de moradores, com modelos de prestação que vêm se destacando e com possibilidade de ser replicado em outros estados.

3.2.1 Modelos de gestão para o serviço de abastecimento de água em áreas rurais

Um fator determinante para a sustentabilidade dos serviços de abastecimento de água é a escolha do modelo e da prática de gestão, que requer acompanhamento regular da sua implementação. No Brasil são adotados diversos tipos de modelos de prestação de serviço, que podem ser diferenciados de acordo com a abrangência de atuação, natureza jurídico-administrativa, política tarifária adotada, o nível de participação e envolvimento da comunidade atendida, a responsabilidade administrativa, a sustentabilidade econômica, entre outros (Heller, 2010; Raid et al., 2022). É possível destacar os seguintes modelos, segundo Brasil (2007), Funasa (2004), Roland (2020) e Raid et al. (2022):

- **Administração Municipal:** a prefeitura municipal assume a gestão do serviço, sendo responsável pelas atividades de planejamento, projeto, operação e administração. Podem ser executadas de maneira direta ou indireta. Na forma direta a prestação pode ocorrer por meio de secretarias, departamentos ou repartições de administração direta, sem uma personalidade jurídica definida ou autonomia financeira. Já na administração indireta existe a autonomia jurídica, administrativa e financeira, comumente assumida por autarquias. Um exemplo deste tipo de autarquia é o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE);
- **Companhias Estaduais de Água e Esgoto:** modelo que predomina no Brasil para a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Consiste em empresas públicas e/ou de economia mista que obedecem a um sistema centralizado, administrativamente e financeiramente, com escritórios regionais em municípios sede. Foram criadas para serem agentes municipais da prestação dos serviços de água e esgoto mediante concessões autorizadas por lei específica;
- **Empresas privadas:** neste modelo a implantação ou prestação dos serviços é firmada por contrato entre a Administração Pública e entes privados. O capital é predominantemente ou integralmente privado, administrado exclusivamente por particulares;

- **Consórcios públicos:** pessoa jurídica formada exclusivamente por entes da Federação, para estabelecer relações de cooperação federativa;
- **Gestão comunitária:** modelo no qual a comunidade se responsabiliza pela gestão do serviço de abastecimento de água. O estado, de forma direta ou por intermédio de parcerias, propicia a instalação da solução de abastecimento de água e oferece suporte para a comunidade gerenciar. A organização social enquadra-se nesta modalidade, pois presta o serviço assumindo a responsabilidade técnica para manutenção e reparos e das atividades financeiras, realizando a cobrança dos serviços e administrando os valores arrecadados para garantir a sustentabilidade financeira do sistema;
- **Gestão compartilhada:** a responsabilidade é dividida entre diferentes entes: comunidade, poder público, algum tipo de organização sem fins lucrativos (ONG e associações, por exemplo) ou companhia estadual. Neste caso pode haver diversos arranjos organizacionais nos quais cada um possui uma função na gestão e implantação dos sistemas e serviços.

As concessionárias e autarquias prestadoras de serviços de água e esgotos no meio urbano contam com iniciativas de saneamento rural. Porém, a efetivação e a ampliação dos sistemas dependem de diversos fatores, inclusive políticos e econômicos, resultando em um enorme déficit (Santos; Santana, 2020).

O estudo de Raid et al. (2022) apresenta uma avaliação comparativa entre os modelos de prestação de serviço existentes no Brasil e voltados para o rural, a partir de uma análise hierárquica e baseando-se nos possíveis contextos de soluções de abastecimento de água encontrados nessas áreas. Os resultados constataram que a gestão municipal e a gestão compartilhada são as modalidades mais adequadas para atendimento das comunidades rurais brasileiras, pois possibilitam maiores participação e controle social, tarifas mais acessíveis e melhor conhecimento sobre a realidade local.

O Banco Mundial (2016) define que a gestão comunitária pode ocorrer de duas maneiras distintas: gestão unicomunitária e gestão multicomunitária. No modelo unicomunitário a comunidade exerce uma gestão isolada, apenas para si, com atividades administrativas e financeiras executadas pela associação comunitária local e por um operador contratado para assegurar o funcionamento do sistema. Segundo o Trata Brasil (2018), este modelo é predominante na região Norte do Brasil, devido a dispersão populacional das comunidades ribeirinhas, localizadas a horas ou dias dos centros urbanos e cujo acesso se dá somente por rios. Além disso, a região não possui problemas de oferta de água bruta.

Já no modelo multicomunitário a abrangência é regional, sendo a gestão realizada de forma comum para diversas comunidades, que apresentam universalidade da cobertura do abastecimento de água com ligações domiciliares, regularidades no abastecimento, adequação do tratamento de água e micromedição efetiva. Também possuem faturamento informatizado, inadimplência controlada e tarifa média que cobre os custos de operação e manutenção dos sistemas (Banco Mundial, 2016).

É consenso na literatura que os modelos de gestão comunitária e compartilhada podem contribuir para redução das disparidades no acesso à água potável entre as áreas urbana e rural. Para solução desta desigualdade é necessário um planejamento com propostas estruturais, investimentos em tecnologias apropriadas, capacitação dos envolvidos, conscientização e mobilização social, entre outros fatores. Sendo assim, é necessário que esses modelos recebam apoio do Estado brasileiro para ter condições técnicas e econômicas para prestar o serviço de forma eficiente. Os aportes a fundo perdido devem ser ampliados e os arranjos formados pelas comunidades apoiados por prefeituras, União e concessionárias de serviço (Oliveira et al., 2020; Raid et al., 2022; Santos; Santana, 2020).

Companhias de abastecimento responsáveis pela prestação do serviço nas áreas urbanas muitas vezes não são capazes de atender as demandas no meio rural, devido a inviabilidade econômica, alto investimento e baixo índice de retorno. Neste contexto, investimentos em políticas públicas de abastecimento de água que aplicam modelos de autogestão ganham destaques no Nordeste brasileiro. Modelos como a Central de Associações no estado da Bahia e o Sistema Integrado de Saneamento Rural (Sisar) no Ceará visam a implementação de sistemas de abastecimento de água por rede de distribuição que, após construídos, tornam-se responsabilidade da própria comunidade rural (Rodrigues, 2022).

3.2.2 Central de Associações – Central

O primeiro experimento do modelo de gestão compartilhada ocorreu no estado da Bahia, que possui 83,4% da população total com acesso à água tratada (SINISA, 2024). A Central de Associações foi criada e teve sua primeira implementação na região de Seabra no ano de 1995. Posteriormente, com o crescimento do programa de saneamento rural no estado, foram criadas a Central Jacobina e a Central Caetité. Para Queiroz et al. (2023), o modelo de autogestão da Central, considerado autônomo e participativo, reduziu a dependência de recursos públicos para garantir a qualidade dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em

localidades de pequeno porte na zona rural da Bahia. Informações sobre as Centrais da Bahia são observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Atendimento das Centrais

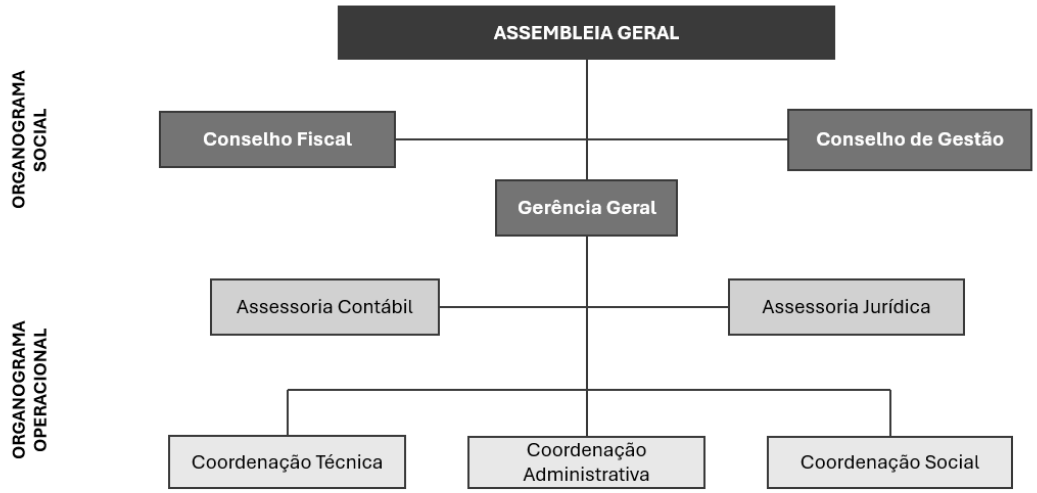
Unidades	Qtd de Municípios	Qtd de Sistemas	Localidades Atendidas	Ligações Ativas	Pop. (hab)	Maior sistema (Ligações)	Menor sistema (Ligações)
Seabra	17	75	157	14.200	43.500	650	45
Jacobina	10	38	115	9.824	26.500	1.032	65
Caetité	07	14	44	3.523	-	-	-
TOTAIS	34	127	316	32.547	70.000	-	-

Fonte: Central (2022).

A Central é uma associação civil de direito privado, sem fins econômicos, que atua na área do saneamento rural envolvendo a participação efetiva das associações filiadas na implementação, administração e operação dos sistemas de abastecimento, além de contribuir para o desenvolvimento comunitário (Central, 2019).

A Central auxilia as comunidades rurais no gerenciamento, manutenção e operação dos sistemas de saneamento básico. As decisões sobre valor da tarifa, valor da remuneração do operador e outros aspectos inerentes e particulares de cada comunidade são tomadas em assembleias. Cabe a Central realizar o gerenciamento técnico, administrativo, comercial e financeiro, também realizar reparos e pequenas ampliações nos sistemas, promover capacitação dos operadores e ações para ampliar e fortalecer a participação comunitária. Conta com o apoio do Governo do Estado da Bahia, por meio de ações da Companhia de Engenharia Hídrica e Saneamento (Cerb) na perfuração de poços e instalação de sistemas simplificados de abastecimento de água, entre outros órgãos do governo. (Sodré, 2019). A estrutura organizacional do modelo de gestão da Central, Figura 1.

Figura 1 - Estrutura organizacional da Central



Fonte: Adaptado de Central (2019).

Os usuários das comunidades filiadas têm em suas residências um micromedidor para medir o consumo de água, que ajuda no faturamento e a evitar o desperdício. A tarifa paga pelos usuários é composta a partir do consumo de até 10 m³ de água, uma gratificação pelos serviços do operador, o consumo de energia elétrica para funcionamento do sistema e uma taxa administrativa que retorna para a reserva da associação. O valor cobrado pelo consumo depende do tipo de edificação, classificadas pelo prestador como residencial, comercial, pública e industrial (Funasa e UFCG, 2022).

3.2.3 Sistema Integrado de Saneamento Rural – Sisar

O modelo de gestão do Sistema Integrado de Saneamento Rural (Sisar) foi criado no ano de 1996 no Ceará que, segundo SINISA (2024), possui 72,2% da população com acesso à água tratada. O Sisar é uma organização não governamental da qual os agentes públicos e as comunidades, por meio das associações, pudessem dar suporte para a gestão comunitária de sistemas de abastecimento de água implantados nas áreas rurais através de um convênio entre o governo estadual e o Banco KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) (Cruz, 2019). O sistema é baseado na experiência da Central de Associações e inicialmente atendia apenas a região de Sobral. A partir de 2001 o modelo foi difundido para outras regiões do estado e hoje está presente nas oito bacias hidrográficas do Ceará, atendendo mais de 1 milhão de pessoas (Tabela 2).

Tabela 2 - Atendimento do Sisar

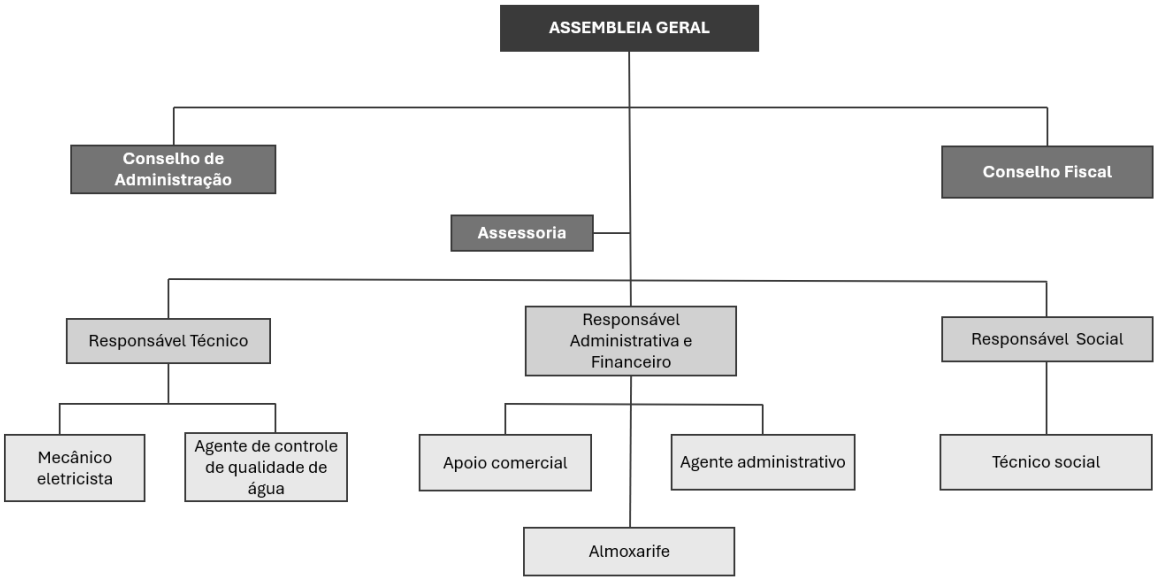
Unidades	Qtd de Municípios	Qtd de Sistemas	Localidades Filiadas	Localidades Atendidas	Ligações Totais	Pop. (hab)	Média de Ligações
Sobral	33	189	184	217	49.570	187.375	269
Acopiara	20	167	165	291	26.741	101.081	162
Quixadá	22	179	206	331	35.279	133.355	171
Russas	17	86	93	253	25.158	95.097	271
Itapipoca	20	152	147	290	32.326	122.192	220
Fortaleza	17	80	93	128	16.078	60.775	173
Crateús	17	272	275	344	48.151	182.011	175
Juazeiro	23	209	209	280	39.100	147.798	187
TOTAIS	169	1.334	1.372	2.134	272.403	1.029.683	199

Fonte: Instituto Sisar (2023).

Na Figura 2 observa-se a estrutura organizacional de uma regional Sisar. As instâncias de direção da regional são a Assembleia Geral, o Conselho de Administração e o Conselho Fiscal. A Assembleia Geral é formada por representantes de cada uma das comunidades filiadas e é responsável pela escolha dos membros dos conselhos. A regional possui equipes para atender às demandas técnicas e realizar as atividades administrativas, financeiras e sociais. Os responsáveis técnicos controlam a qualidade da água para consumo humano e atendem às demandas por manutenções no sistema. Os responsáveis pelo administrativo e financeiro prestam apoio comercial, realizam o faturamento e a arrecadação, controle de estoques e do almoxarifado. Por fim, os agentes do social auxiliam as associações, mobilizam e capacitam as comunidades, mostrando a importância do papel da população na gestão do serviço de abastecimento de água (Funasa e UFCG, 2022).

Importante destacar que, cada regional é autônoma e possui personalidade jurídica própria. O único vínculo com a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) é através da Gerência de Saneamento Rural (Gesar), na elaboração de relatórios mensais, organização trimestral de reuniões para troca de experiências, supervisão e aporte de especialistas na área e avaliação de metas (Roza; Araújo, 2020).

Figura 2 - Estrutura organizacional do Sisar



Fonte: Adaptado de Ceará (2021).

Para que uma associação ingresse no Sisar é necessário que esta dê entrada com um documento demonstrando seu interesse em filiar-se. O Sisar realiza uma vistoria criteriosa emitindo um parecer técnico sobre as reais condições do sistema de abastecimento e a legitimidade da associação. Caso não esteja dentro dos critérios, deve ser especificado no parecer todas as ações e custos necessários para deixá-lo dentro dos padrões exigidos. Após adequação do sistema, o relatório técnico e os pareceres (técnico e social) são apresentados ao Conselho de Administração do Sisar e este libera a filiação da comunidade (Roza; Araújo, 2020).

No atual modelo da gestão compartilhada a operação do sistema é de responsabilidade da associação de moradores. Em cada comunidade um morador local é eleito operador do sistema após votação em reunião com a população, de forma voluntária e sem vínculo empregatício com o Sisar. Os operadores escolhidos são responsáveis por controlar e monitorar o tratamento e a distribuição de água para consumo humano e executar a medição dos hidrômetros (Ceará, 2021; Funasa e UFCG, 2023).

A tarifa a ser cobrada pela prestação dos serviços do Sisar é definida de acordo com o perfil dos consumidores das comunidades, sendo destinada para manutenção e melhorias no sistema. Além da cobrança pelo consumo da água, a conta apresenta uma gratificação para o operador, o consumo de energia elétrica para funcionamento do sistema e uma taxa administrativa que retorna para a reserva da associação. Todos os valores são definidos em

assembleia com a comunidade, exceto a taxa referente ao consumo de energia que é calculada pela Enel (Ceará, 2021; Funasa e UFCG, 2023).

Castro, Taleires e Silveira (2021) investigaram os Índices de Desenvolvimento Humano (IDHM) dos municípios que possuem o modelo de gestão Sisar, comparando-os com aqueles que não têm. Foi constatado que o melhor desempenho ocorreu nos municípios que se beneficiaram do Sisar. Os resultados do estudo apoiam a importância de ter sistemas que forneçam água tratada nas comunidades rurais, pois estes contribuem para o desenvolvimento humano, principalmente para longevidade e educação da população.

Para Santos e Santana (2020) e Sodré (2019), ainda existem muitas fragilidades e dificuldades a serem superadas pelo modelo da gestão compartilhada nos serviços de abastecimento de água. Para o Sisar, como constatado nos resultados obtidos em trabalho da Funasa e UFCG (2023), destacam-se os desafios de aumentar a confiabilidade na qualidade dos serviços prestados e atender ao nível de monitoramento da qualidade da água estabelecido pela portaria de potabilidade, com os recursos disponíveis para gestão dos sistemas.

3.3 Principais problemáticas relacionadas a qualidade da água nas áreas rurais brasileiras

Nas áreas rurais existe um número elevado de focos de contaminação hídrica, como aqueles que são resultantes das instalações de atividades agropecuárias e agroindustriais, a presença de animais e o uso do solo próximo dos mananciais, a disposição inadequada de resíduos sólidos e o lançamento inadequado de efluentes domésticos e industriais (Corrêa, 2020).

Para Bastos (2020), as populações rurais podem se encontrar igualmente, senão mais do que no meio urbano, expostas à fertilizantes e agrotóxicos devido à contaminação de mananciais de abastecimento. Estudos identificaram a presença de agrotóxicos na água distribuída em comunidades rurais brasileiras e correlacionaram os resultados com o elevado número de casos de câncer nas localidades (Panis et al., 2021; Panis et al., 2022). A remoção de poluentes emergentes da água, como os hormônios, agrotóxicos e fertilizantes, requer a adoção de alternativas de tratamento mais avançadas, muitas vezes não acessíveis devido às limitações técnicas e financeiras existentes na prestação do serviço das áreas rurais.

O nitrato é uma substância química inorgânica que também representa risco à saúde. Em elevadas concentrações na água é um indicativo de contaminação por atividades antrópicas, como esgotos, fossas sépticas, depósitos de resíduos sólidos, cemitérios, adubos nitrogenados,

entre outros (Hirata et al., 2020). A substância é causadora da deficiência da hemoglobina no sangue em crianças, que resulta na síndrome do bebê azul e pode ser fatal. Santos et al. (2024) avaliou a contaminação das águas subterrâneas em áreas do município de Tupã, em São Paulo, e destacou a suscetibilidade das crianças à contaminação por nitratos através da ingestão da água dos poços. Ademais, enfatizou a importância do monitoramento destas águas para identificação de potenciais fontes de contaminação e obtenção de informações para melhorar a gestão dos recursos hídricos. Scheffler et al. (2022) constatou a mesma problemática nas águas subterrâneas das comunidades rurais do Rio Grande do Sul.

A *Escherichia coli* (*E. coli*) é um microrganismo considerado como o mais importante indicador de poluição fecal das águas. A infraestrutura insuficiente ou precária de saneamento básico nas comunidades rurais contribui para a contaminação da água por patógenos. Santos, Paes e Pessoa (2022) avaliaram a qualidade microbiológica das fontes de água para consumo humano e a percepção dos indivíduos acerca dessa qualidade, de três comunidades rurais do Vale do Jiquiriçá, na Bahia. As análises laboratoriais foram realizadas com amostras de água coletadas em mananciais superficiais, subterrâneos e tanques que armazenavam águas de chuvas. Foi constatado que a água para consumo humano destas comunidades estava contaminada com bactérias do gênero *E. coli*, no entanto, a percepção da maioria das famílias é de que a água é de boa qualidade e não necessita de qualquer tipo de tratamento.

Siqueira, Lima e Santos (2022) também constataram a presença de *E. coli* nas águas subterrâneas que abastecem comunidades rurais no agreste de Sergipe e afirmaram que é fundamental a verificação contínua da qualidade da água em toda a cadeia de abastecimento, sendo uma prática que contribui para identificação de potenciais falhas no sistema. Também recomendaram ações constantes para a orientação da população rural sobre o cuidado diário com a água, as doenças de veiculação hídrica e a importância da aplicação de agentes desinfetantes.

Os relatos da população rural sobre ter resistência à utilização de hipoclorito de sódio para a realização do tratamento da água é mais um agravante neste cenário. É comum a oposição ao gosto do cloro, a crença na adequada qualidade da água *in natura* e a desconfiança com relação aos efeitos do cloro no organismo humano (Roland et al., 2019). Os resultados da análise realizada por França et al. (2023) sobre a vigilância e controle da qualidade da água em comunidades rurais do estado do Ceará mostrou que, predominantemente, a população das áreas rurais consome a água fornecida por seus sistemas apenas nas atividades domésticas, pois rejeitam o sabor e odor atribuído pela presença do cloro na água tratada. A água da chuva

armazenada nas cisternas ainda é bastante utilizada para beber e cozinhar, porém, na maioria das vezes, não há aplicação de qualquer tipo de tratamento nesta água, colocando em risco a saúde dos consumidores.

Nos últimos anos, diversos estudos têm verificado a potabilidade da água em comunidades rurais brasileiras, revelando inconformidades em parâmetros como arsênio, amônia, cloretos, dureza total, ferro, manganês, cor aparente, turbidez, entre outros. Côrrea (2020), em elaboração de um modelo conceitual de PSA para comunidades rurais, identificou que podem existir 165 eventos perigosos em sistemas e soluções de abastecimento nestas áreas, desde a captação até o consumidor final, com riscos à saúde da população.

O monitoramento da qualidade da água é fundamental na identificação desses problemas, com protocolo que deve ser executado de acordo com as recomendações dos normativos existentes no país para qualidade da água bruta e água tratada, ainda que estes possuam fragilidades e limitações.

3.4 Normativos da qualidade da água para consumo humano

Além de ampliar a cobertura do serviço de abastecimento de água em um país, é necessário garantir que a água fornecida atenda aos requisitos de qualidade para consumo humano ou demais usos a que se destinam. Para isso, é imprescindível que sejam instituídos normativos que regulamentem o controle e a vigilância da qualidade da água. Essas diretrizes devem estabelecer os parâmetros a serem monitorados, a periodicidade das coletas e análises, os responsáveis pela execução e fiscalização das atividades, o plano de comunicação para informar os consumidores sobre a qualidade da água, além de promover a integração com outras políticas e normativas relacionadas.

Segundo Heller (1997), autor de um dos primeiros estudos sobre a relação entre saneamento e saúde, é fundamental implementar, de forma integrada, ações de controle e vigilância, medidas estruturais e a criação de marcos conceituais, regulatórios e institucionais. Dentre esses marcos, destacam-se as normas de potabilidade, que definem os requisitos de segurança e qualidade para a água fornecida.

O conceito de potabilidade é tido como universal, entretanto, as normas e os padrões de potabilidade nos diversos países variam em função de aspectos ambientais como a qualidade das águas captadas, de aspectos sociais, culturais, econômicos e tecnológicos, que juntos podem refletir na viabilidade de aplicação das normas (Pinto, 2006). Sendo assim, cada país deve estabelecer padrões de potabilidade passíveis de aplicação, monitoramento, controle e

vigilância, considerando suas particularidades, aspectos epidemiológicos, ensaios toxicológicos e de qualidade de água (Fortes et al., 2019).

3.4.1 Contexto internacional do controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano

3.4.1.1.1 *Organização Mundial de Saúde*

A primeira iniciativa da OMS na elaboração de diretrizes relativas à potabilidade da água aconteceu em 1956, com a publicação do *Standards of Drinking-Water Quality and Methods of Examination Applicable to European Countries,* que tinha como objetivo a padronização e divulgação dos parâmetros de qualidade da água.

No ano de 1958, a OMS publicou a primeira edição do *International Standards for Drinking-Water*, com diretrizes para os diversos países, contendo os padrões mínimos de qualidade para o abastecimento doméstico e os métodos adequados para a análise dos parâmetros. Porém, existia um distanciamento entre os padrões adotados como 'europeus' e os chamados 'padrões internacionais': os internacionais estabeleciam padrões mínimos, passíveis de serem alcançados, inclusive, por países em desenvolvimento; os europeus, em função da capacidade econômica e tecnológica, apresentavam padrões mais rigorosos. Então, no ano de 1983, os padrões internacionais deram lugar ao *Guidelines for Drinking Water Quality (GDWQ)*, que unificou as recomendações relativas à qualidade da água para consumo humano, sem distinguir os países em função do seu aparato econômico e tecnológico (Pinto, 2006; Fortes et al., 2019).

A segunda edição do GDWQ foi publicada em 1993, com um aumento significativo do número de parâmetros a serem controlados em relação a edição anterior e enfatizando o *E. coli* como principal indicador de contaminação fecal. Também determinou que toda água distribuída para consumo humano deveria passar pelo processo da desinfecção (WHO, 1993).

A terceira edição do normativo é do ano de 2004 e priorizou a avaliação e gerenciamento dos riscos microbiológicos em relação aos químicos. Ademais, reforçou a discussão relativa aos papéis e responsabilidades das instituições envolvidas no serviço de abastecimento, ressaltando a importância da independência entre os órgãos responsáveis pelo controle e vigilância da qualidade da água (WHO, 2004).

Em 2011 foi publicada a última edição do GDWQ, reeditada em 2017, quando além de estabelecer diretrizes para padrões microbiológicos, químicos, radioativos e organolépticos, trouxe em seu bojo metas de proteção à saúde das populações, priorizando aspectos referentes à gestão da qualidade da água diante das mudanças climáticas e situação de escassez. O normativo também reforçou a importância da gestão de risco em toda a cadeia de abastecimento (WHO, 2017; Fortes et al., 2019).

Ainda que cada país tenha competência para desenvolver seus próprios padrões, a partir de sua capacidade tecnológica, operacional e condições ambientais, a OMS continua sendo a instituição que acompanha e recomenda os valores máximos permitidos, com base nos resultados de bioensaios, estudos toxicológicos e epidemiológicos validados (Feltman, 2022).

A OMS influencia as diretrizes para a qualidade da água para consumo humano de vários países. Apresenta uma base sólida utilizada em diversos contextos, inclusive documentos e ações voltadas ao serviço de abastecimento de água rural, a exemplo do Brasil, que construiu o PNSR e a atual portaria de potabilidade de acordo com os preceitos da OMS. Também é possível destacar os guias para a seleção e aplicação de tecnologias de desinfecção da água para consumo humano em pequenos povoados e comunidades rurais na América Latina e no Caribe (Fontana, 1995; Brasil, 2019; Brasil, 2021).

3.4.1.1.2 *Estados Unidos da América*

Segundo Feltman (2022), no âmbito mundial, os primeiros padrões de qualidade de água para consumo humano foram propostos na década de 1910 pelos Estados Unidos da América (EUA), em resposta à contaminação microbiológica de águas de abastecimento transportadas no território americano. Posteriormente, no ano de 1914, o *United States Public Health Service* estabeleceu um padrão microbiológico para água de abastecimento transportadas em navios e trens para os Estados norte-americanos.

A norma teve sua primeira revisão em 1925, com inserção de recomendações acerca da proteção dos mananciais de abastecimento e os efeitos da poluição sobre estes. Também foram redefinidos os limites bacteriológicos, assim como os estéticos, com exigência de a água para consumo humano ser inodora, sem gosto e isenta de cor, além de não conter substâncias minerais solúveis. Na revisão publicada em 1942, foram definidos os pontos de amostragem para coleta e análise bacteriológica na rede de distribuição e os valores limites para os parâmetros chumbo, cobre, zinco e ferro (Fortes et. al, 2019, Feltman, 2022;).

Finalmente, em 1974, o Congresso Norte Americano aprovou a primeira edição do *Safe Drinking Warter Act* (SDWA), que estabeleceu os valores máximos e mínimos para uma série de padrões orgânicos e inorgânicos na água de abastecimento. A última revisão do SDWA ocorreu no ano de 1996, com alterações implementadas em virtude das inovações laboratoriais (Fortes et al., 2019). Atualmente, este normativo é administrado pela *United States Environmental Protection Agency* (Usepa).

A última versão do SDWA reconhece que a garantia da segurança da água não se limita apenas ao tratamento, mas também deve abranger a proteção dos mananciais, ao treinamento dos operadores, o financiamento de melhorias nos sistemas de abastecimento e à informação aos consumidores. Ainda estabeleceu duas categorias de padrão de potabilidade: o *National Primary Drinking Water Regulations* (NPDWR) e o *National Secondary Drinking Water Regulation* (NSDWR) (Usepa, 1996; Usepa, 2004)

O NPDWR abrange padrões relacionados a contaminantes que apresentam risco à saúde pública, sendo todos de monitoramento obrigatório. Também estabelece as técnicas de tratamento necessárias para alcançar os limites definidos. Já o NSDWR, é uma regulamentação não compulsória que fornece diretrizes sobre as substâncias capazes de causar impactos estéticos e organolépticos na água, como alterações no sabor, odor e/ou cor. Embora os Estados não sejam obrigados a adotar os padrões definidos pelo NSDWR, considera-se que eles são relevantes para as pequenas comunidades que buscam manter um alto padrão de qualidade da água, mesmo quando a mitigação ou redução dos riscos à saúde não sejam o foco principal (Usepa, 2004; Pinto, 2006; Feltman, 2022).

Ao longo de cinco décadas, a proteção da água potável foi reforçada por meio de grandes emendas do SDWA e regulamentações adicionais do governo dos EUA, estabelecendo padrões para a gestão de sistemas de água aos quais os atores locais devem aderir. Porém, a prestação de serviços públicos em comunidades rurais no país ocorre em um contexto com limitações nas arrecadações de impostos e restrições na capacidade técnica, fatores que dificultam a implementação do normativo (Halseth et al., 2019; Haggerty et al., 2021)

O cumprimento da lei e a responsabilização ainda são limitados nos EUA, pois as responsabilidades são compartilhadas entre a agência federal e as autoridades locais. Estudos têm demonstrado que o não cumprimento do SDWA é extenso e não há muita ação para reverter esta situação. Os motivos geralmente são problemas de infraestrutura. A remediação exige custos que devem ser cobertos pelos usuários, o que é difícil para pequenas concessionárias (Nat Water, 2024).

3.4.1.1.3 *União Europeia*

A qualidade da água para consumo humano na União Europeia (UE) é regulamentada pela Diretiva 2020/2184, elaborada em 2020 pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da UE, com a participação da Comissão Europeia, do Comitê Econômico e Social Europeu e do Comitê das Regiões. Essa diretiva substitui e aprimora a Diretiva 98/83/CE, publicada em 1998. A reformulação foi impulsionada por uma iniciativa de cidadania europeia sobre o direito à água, a Right2Water, que levou a Comissão Europeia a realizar uma consulta pública em toda a UE e uma Avaliação de Adequação e Desempenho Regulatório (REFIT) da Diretiva 98/83/CE. Além disso, a revisão contou com a contribuição do escritório regional da OMS, que avaliou os parâmetros e valores técnicos para alinhá-los aos avanços científicos e às demandas sociais mais recentes (UE, 1998; UE, 2020).

Na diretiva de 2020 foram melhorados quatro aspectos: atualização da lista de parâmetros microbiológicos e físico-químicos da qualidade da água; ênfase na implementação de uma abordagem baseada na avaliação e gestão de riscos, desde a bacia hidrográfica até o ponto final de abastecimento; otimizar a disponibilidade de informações sobre a qualidade da água para o consumidor europeu; e buscar uma melhor regulamentação para sistemas que aprovam os materiais utilizados nos processos de tratamento da água. A reformulação também teve como objetivo solucionar a problemática de parte da população, em particular dos grupos marginalizados, de não possuir acesso à água potável, já que garantir esse acesso é um compromisso do ODS 6 da ONU (UE, 2020).

A atual legislação da UE apresenta diretrizes que estão integradas com outros normativos europeus, com medidas que corroboram com outras diretivas sobre as águas superficiais e subterrâneas, substâncias radioativas, proteção ambiental, produção de água mineral, informação à população, entre outros. Importante destacar que, o documento abrange toda a água, incluindo aquela fornecida por redes de distribuição, pelos chamados caminhões cisternas ou a água engarrafada, e ainda água de nascente, o que sugere que tanto as áreas urbanas como rurais estão incluídas no escopo da legislação. O Art. 2 do normativo define água para consumo humano como:

> Toda a água, seja em seu estado original ou após tratamento, destinada ao consumo humano, preparo de alimentos, cozimento ou outros fins domésticos, em instalações públicas e privadas, independentemente de sua origem e de ser fornecida por uma rede de distribuição, por caminhão-tanque ou colocada em garrafas ou recipientes, incluindo águas de nascente (UE, 2020, p.16).

De acordo com Tosun et al. (2022), a qualidade da água potável na Europa é, em geral, considerada boa, graças à implementação das regulamentações associadas à Diretiva (UE) 2020/2184. No entanto, diversos problemas têm sido relatados em vários países, especialmente quando a água superficial é tratada com tecnologias inadequadas. Além disso, a presença de contaminantes emergentes, como hormônios e medicamentos, e o aumento de produtos químicos antropogênicos têm prejudicado a qualidade da água, representando riscos à saúde humana. Esses desafios já motivaram uma nova revisão da normativa, atualmente em negociação entre o Parlamento Europeu e os governos dos estados-membros.

3.4.1.1.4 *Austrália*

A diretrizes australianas para água portável encontram-se nos *Drinking Water Guidelines* (ADWG), uma série de documentos elaborados pelo *National Health and Medical Research Council* (NHMRC), em colaboração com outros órgãos como o *Water Quality Advisory Committee,* o *Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency* (ARPANSA) e o *National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme* (NICNAS).

O objetivo principal dos guias ADWG é fornecer, para a comunidade australiana e para a indústria de abastecimento de água, uma referência sobre água potável segura e de boa qualidade, como ela pode ser alcançada e como sua qualidade pode ser assegurada. As diretrizes não são padrões obrigatórios, mas sim um guia para determinar a qualidade da água a ser fornecida aos consumidores. O documento principal foi publicado em 2011, mas passou por algumas revisões, sendo a última no ano de 2022 (NHMRC, 2011).

Além dos indicadores de qualidade da água e seus valores de referência, os guias ADWG enfatizam a necessidade de aplicar a gestão de risco de forma preventiva nos serviços de abastecimento do país, desde a captação da água até o consumidor final. Essa abordagem deve incluir elementos como análise de todo o sistema de abastecimento, implementação de medidas preventivas, procedimentos operacionais, verificação da qualidade da água, gerenciamento de incidentes e a busca pela melhoria contínua (NHMRC, 2011).

Outro ponto importante é sobre a participação da comunidade. Segundo a diretriz australiana, os consumidores devem ser parceiros ativos nas decisões sobre a qualidade da água, pois são eles os juízes finais da prestação do serviço. É responsabilidade dos fornecedores manter os usuários plenamente informados sobre a qualidade da água, os problemas existentes e as necessidades de melhorias (NHMRC, 2011).

Existe um capítulo inteiramente dedicado a gestão da qualidade da água potável em pequenos sistemas de abastecimento. Para os propósitos das diretrizes, pequenos sistemas de abastecimento de água são aqueles que atendem menos de 1000 pessoas, a exemplo dos suprimentos domésticos individuais, que podem ser abastecidos por mananciais superficiais, subterrâneos ou utilizam as águas pluviais. O guia reconhece que pode não ser economicamente viável ou prático para este tipo de contexto implementar todas as recomendações propostas para sistemas maiores. Porém, são necessárias medidas básicas para fornecer água potável segura, sendo indicada a flexibilização do monitoramento, a consideração das peculiaridades dos pequenos sistemas e da área abastecida na gestão de riscos e adoção de algumas medidas preventivas (NHMRC, 2011).

Wyrwoll et al. (2022) revisaram relatórios públicos de 177 fornecedores de água na Austrália, analisando o atendimento aos valores dos parâmetros de monitoramento propostos pelos guias ADWG e a existência de outras violações que resultassem em risco a saúde da população abastecida. Foi constatado que pelo menos 25.245 pessoas, em 99 localidades com populações inferiores a 1000 habitantes, acessaram serviços de água que não estavam em conformidade com os valores padrões das diretrizes. O problema pode ser muito maior do que o que foi identificado nas análises, já que há lacunas de monitoramento e nos relatórios fornecidos, indicando uma subnotificação de inconformidades.

3.4.1.1.5 *China*

A China possui o normativo GB 5749-2006, publicado em 2006 e que instituiu o padrão nacional de qualidade da água potável. O documento expandiu significativamente o número de indicadores de qualidade da água em comparação com a versão anterior, o GB 5749-1985, de 35 para 106, incluindo novos parâmetros microbiológicos, inorgânicos, orgânicos e sensoriais. (China, 2006).

O padrão chinês para qualidade da água está integrado com outros normativos do país, referentes a qualidade da água dos mananciais superficiais e subterrâneos, métodos para testes em água potável, especificação higiênica para instalações de abastecimento de água, avaliação da segurança dos produtos químicos utilizados no tratamento de água, qualificação para obras de sistemas em vilarejos e cidade, entre outros (China, 2006).

O prazo máximo de implementação total da GB 5749-2006 era 1 de julho de 2012. Todos os 106 indicadores incluídos foram adotados a partir das diretrizes da OMS. Na Tabela

3 verifica-se que o número de itens regulamentados pela China excede o dos normativos dos EUA e da União Europeia (Qu et al., 2012).

Tabela 3 – Itens regulamentados em normativos internacionais

	China	WHO	US EPA	UE
Número de indicadores	106	155	103*	48

*: contém 15 indicadores não obrigatórios

Fonte: Adaptado de Qu et al. (2012).

Os indicadores da norma chinesa são classificados em regulares e não regulares. Os indicadores regulares são considerados básicos e obrigatórios, devendo ser monitorados continuamente por todas as unidades de abastecimento de água, como a presença de coliformes, cor, turbidez, pH, concentrações do residual do agente desinfetante e de substâncias como chumbo, cádmio, arsênio, entre outros (China, 2006).

Quanto aos indicadores não regulares, estes não devem ser monitorados com a mesma frequência ou obrigatoriedade dos regulares, sendo definidos e implementados pelas províncias, de acordo com suas necessidades e situações regionais. Alguns dos itens classificados como não regulares pela norma são: a presença de *Giardia* e *Cryptosporidium* e substâncias resultantes da contaminação da água por pesticidas e herbicidas ou produtos químicos industriais (China, 2006).

A GB 5749-2006 apresenta requisitos diferenciados para pequenos sistemas de abastecimento, centralizados ou descentralizados, com a justificativa de que estes contextos podem enfrentar restrições na implementação do monitoramento dos indicadores estabelecidos. Nestes cenários, certos parâmetros de qualidade da água podem ser monitorados temporariamente ou ocorre uma flexibilização dos valores limites de arsênio, nitrato, bactérias aeróbicas, pH, turbidez, cor, ferro, manganês, entre outros (China, 2006).

3.4.1.1.6 *Índia*

A IS 10500:2012 é a norma que apresenta o padrão de potabilidade da água na Índia, elaborada pelo *Bureau of Indian Standards (BIS)* e publicada em maio de 2012. Fornece um conjunto de diretrizes e requisitos técnicos para garantir água segura e de qualidade para consumo humano no país. É uma revisão do padrão originalmente publicado em 1983, feita com o objetivo de alinhar a norma com outras especificações internacionais sobre água potável, como as diretrizes da União Europeia, da USEPA e da OMS. Após esta revisão, o BIS incluiu

apenas quatro emendas no documento, nos anos de 2015, 2018, 2021 e 2023, adicionando ou alterando indicadores, seus valores limites e os métodos de análise (BIS, 2012; BIS, 2023).

O normativo estabelece indicadores com limites aceitáveis e indicadores com limites permissíveis. Os parâmetros de limites aceitáveis são para serem obrigatoriamente implementados no monitoramento da qualidade da água e valores acima deles tornam a água inadequada. Já os limites permissíveis são tolerados apenas quando não há fontes alternativas para abastecimento e, quando ultrapassados, as fontes de água devem ser rejeitadas (BIS, 2023).

Para o BIS, a vigilância rotineira das formas de abastecimento de água potável na Índia deve ser executada pelas autoridades competentes, sendo necessário entender os riscos existentes e definir os procedimentos adequados de controle. Também recomenda o uso de uma abordagem de segurança da água que incorpore a identificação dos riscos, como preconizado nos manuais elaborados pela OMS. O documento ainda reforça que precauções e cuidados devem ser tomados para prevenir a contaminação da água por parasitas resistentes ao cloro, como espécies de *Cryptosporidium* e *Giardia* (BIS, 2023).

No que diz respeito ao abastecimento rural, a IS 10500:2012 mostra que existem desafios específicos na garantia da qualidade da água potável neste contexto, como a disseminação da contaminação fecal e a ausência de tratamento convencional da água. Sendo assim, afirma que é necessário um esforço concentrado, com metas progressivas, uso de métodos de análise mais específicos, melhorias físicas e o envolvimento da comunidade para garantir que a populações das áreas rurais tenha acesso à água potável segura (BIS, 2023).

3.4.1.1.7 *África do Sul*

Atualmente, é possível destacar três regulamentações importantes para o abastecimento de água potável na África do Sul: a *National Water Act* (NWA), a Water Services Act (WSA) e a norma *South African National Standard (SANS) 241:2015*.

A NWA foi publicada em 1998 e estabelece um arcabouço legal para a gestão e proteção dos recursos hídricos do país. A implementação da lei teve como objetivo promover o uso sustentável dos recursos hídricos, acesso equitativo à água, uso eficiente e benéfico da água e a prevenção a poluição dos mananciais. Também apresenta estratégias para gestão de bacias hidrográficas, um sistema de classificação dos corpos hídricos, a implementação de licenças para o uso da água, diretrizes para monitoramento e informação dos recursos hídricos e regulamento para segurança de barragens (África do Sul, 1998).

O documento passou por diversas emendas desde a sua promulgação, que resultaram em ajustes técnicos e administrativos da norma, alterações focadas na sustentabilidade ambiental, revisões para aprimorar a governança e a participação comunitária na gestão hídrica, propostas de emendas visando proibir a comercialização dos direitos de uso da água e o empoderamento econômico de comunidades historicamente desfavorecidas (África do Sul, 2024).

Já a WSA foi promulgada em 1997 (Lei nº 108 de 1997) e aborda o direito de acesso a serviço básicos de abastecimento de água e saneamento, estabelecendo um quadro regulamentar para a gestão e fornecimento desses serviços. Segundo a lei, os municípios são responsáveis pela administração desses serviços, inclusive dos distritos e das áreas rurais, mas todos os níveis de governo devem colaborar para assegurar que a prestação dos serviços seja de forma sustentável, equitativa e acessível para todos (África do Sul, 1997).

O normativo estabelece que os responsáveis pelo serviço de abastecimento de água devem elaborar seus regulamentos que, entre outras informações, precisam conter: as condições técnicas de fornecimento, incluindo padrões de qualidade, unidades ou padrões de medição, a verificação de medidores; a instalação, alteração, operação, proteção e inspeção das obras de serviços de água e das instalações dos consumidores; a determinação da estrutura das tarifas; o pagamento e a arrecadação de valores devidos pelos serviços de água; as circunstâncias em que os serviços de água podem ser limitados ou interrompidos; entre outras (África do Sul, 1997).

Nas leis citadas anteriormente não há definição de quais indicadores de qualidade da água devem ser monitorados para garantir água potável segura a população. Também não há dados sobre valores padrões que os responsáveis pelo serviço de abastecimento devem cumprir. Estas informações foram estabelecidas pela norma SANS 241:2015, elaborada pelo South African Bureau of Standards (SABS).

A SANS 241:2015 estabelece todos os requisitos para a qualidade da água potável na África do Sul. Foi dividida em duas partes: a Parte 1 define os critérios de qualidade em termos de determinantes microbiológicos, físicos, estéticos e químicos, de acordo com as diretrizes da OMS. A Parte 2 visa orientar a gestão e monitoramento da qualidade da água, por meio de avaliações de risco e planos de segurança da água. Assim como nas demais regulamentações do país, a SANS 241:2015 é de aplicação abrangente dentro de um município, incluindo distritos e áreas rurais (SABS, 2015).

Importante destacar que, a Parte 2 do documento fornece diretrizes específicas para pequenos sistemas de abastecimento de água, considerando suas particularidades e adaptando

os requisitos de monitoramento, como frequência e pontos de amostragem, a capacidade técnica e financeira e aos riscos específicos existentes nestes contextos (SABS, 2015).

3.4.2 Conjuntura dos normativos no Brasil

No Brasil, os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água estão inseridos em portarias e resoluções e devem ser executados de forma integrada, pela União, estados, municípios, prestadores de serviço e as autoridades de saúde. Estes documentos passaram por alterações ao longo dos anos, ajustando-os às necessidades e avanços tecnológicos do país.

As resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) contêm a regulamentação que baliza a gestão da qualidade das águas brutas. São normativos com classificação das águas superficiais e subterrâneas, diretrizes para enquadramento, padrões de qualidade exigidos para o abastecimento humano e orientações para proteção e uso dos mananciais (Conama, 2005, 2008, 2011). Conhecer a qualidade da água bruta permite que sejam implementados os processos de tratamento adequados para garantir que a água atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos, seja no meio urbano ou no meio rural

Os normativos da potabilidade da água constam em portarias emitidas pelo Ministério da Saúde (MS), com diretrizes para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade (Brasil, 2017, 2021). Essas portarias também evoluíram ao longo do tempo, devido, principalmente, aos novos desafios relacionados ao abastecimento de água com riscos à saúde da população.

São descritas a seguir as principais resoluções e portarias que conduzem a qualidade da água no país e que serão utilizadas para as análises desta pesquisa.

3.4.2.1 *Resoluções sobre a qualidade das águas brutas superficiais e subterrâneas*

A resolução Conama nº 357/2005 estabelece a classificação das águas superficiais em classes doces, salinas e salobras, de acordo com seus usos preponderantes, como abastecimento público, recreação, proteção da vida aquática, entre outros. Cada classe possui padrões de qualidade para parâmetros físico-químicos e microbiológicos, como oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nutrientes, clorofila-a, entre outros. Também determina as condições para controle de lançamentos de efluentes no corpo receptor (Brasil, 2005).

A resolução Conama nº 430/2011 é uma complementação da nº 357/2005, com detalhes das condições, padrões e exigências para os lançamentos de efluentes nos corpos hídricos,

garantindo que os despejos não comprometam a qualidade das águas receptoras. Define critérios específicos para diferentes fontes poluidoras e atividades humanas. Ademais, apresenta orientações para controle e fiscalização para prevenir e mitigar a poluição hídrica (Brasil, 2011).

As águas subterrâneas são classificadas de acordo com a resolução Conama nº 396/2008, que também apresenta diretrizes ambientais para enquadramento e padrões de qualidade para seus usos preponderantes, como consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação. Entre os parâmetros que devem ser monitorados nestas águas devido à maior probabilidade de ocorrência estão ferro, manganês, nitrato, *E. coli*, sólidos totais dissolvidos, entre outros. Apresenta critérios para proteção e uso sustentável dos mananciais subterrâneos, visando a prevenção da poluição e manutenção da qualidade da água dos aquíferos (Brasil, 2008).

As resoluções supracitadas são produtos dos instrumentos criados pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei nº 6.938/1981. O Brasil possui uma legislação ambiental consistente, mas enfrenta dificuldades na implantação e cumprimento das leis. Outro problema é a desatualização dos normativos, diante de modificações ocorridas em diversos setores do país (Valadão et al., 2022). Para o saneamento básico, é fundamental que as resoluções sejam atualizadas quanto aos parâmetros de qualidade que representem novos contaminantes e, também, que sejam mais bem integradas com as demais regulamentações.

3.4.2.2 *Portarias de potabilidade da água para consumo humano*

O controle e vigilância da qualidade da água, além de contribuírem para a saúde pública com a prevenção das doenças de veiculação hídrica, consistem em ações que impactam positivamente nos setores da economia, educação e do meio ambiente. Segundo o Capítulo II, Art. 5º, da Portaria nº 888/2021 do MS, pode-se definir controle e vigilância da qualidade da água como:

> XII – controle da qualidade da água para consumo humano: conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição;
> XIII - vigilância da qualidade da água para consumo humano: conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento a este Anexo e avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde.

A Portaria nº 56/1977 foi um dos primeiros marcos regulatórios da qualidade da água potável no Brasil, estabelecendo os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos que

deveriam ser monitorados e os padrões básicos de potabilidade para garantir segurança à saúde pública. Após esta, foram publicadas mais sete portarias de potabilidade, entre os anos de 1990 e 2021.

Em uma visão geral, as portarias seguintes ampliaram o número de parâmetros a serem controlados e incluíram novos contaminantes químicos e microbiológicos. Com destaque para a Portaria nº 2.914/2011, que incluiu os metais pesados e ampliou o número de agrotóxicos a serem monitorados. Também estabeleceu os primeiros requisitos para a comunicação da qualidade da água ao público (Brasil, 2011).

A PRC nº 5/2017 simplificou e consolidou as normativas de saúde já existentes, integrando todas as normas em um único documento, incluindo a portaria referente a potabilidade da água para consumo humano, disponível no Anexo XX. Esta manteve os parâmetros, as regras de amostragem, os requisitos de comunicação e a definição das responsabilidades estabelecidas pela Portaria nº 2.914/2011 (Brasil, 2017).

Alterações significativas foram feitas posteriormente na Portaria nº 888/2021, que introduziu novos parâmetros, atualizou valores máximos permitidos (VMP) para diversos contaminantes, incluindo cianotoxinas, e aumentou a frequência de monitoramento. Quanto à comunicação e à transparência, reforçou a obrigação da divulgação das informações sobre a qualidade da água, exigiu a publicação de relatórios periódicos e a inserção dos dados no Sistema de Informação da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua) (Brasil, 2021a). A Portaria nº 2.472/2021 também alterou o Anexo XX da PRC nº 5/2017, no Art. 44, § 3º, adicionando mais um parâmetro a ser medido nas amostras coletadas para análises bacteriológicas (Brasil, 2021b).

O Sisagua é um dos principais instrumentos do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano no Brasil (Vigiagua) e tem a finalidade de sistematizar as informações cadastrais de todas as formas de abastecimento de água, sejam sistemas públicos, privados ou soluções alternativas coletivas e individuais, auxiliando no gerenciamento de riscos à saúde associados à qualidade da água para consumo humano (Mata, 2022).

Ademais, a atual portaria obriga a elaboração e implementação do Plano de Segurança da Água (PSA), conforme a metodologia e o conteúdo preconizados pela OMS ou definidos em diretrizes do próprio MS, para fins de gestão preventiva de risco à saúde. O PSA avalia as vulnerabilidades de todo o sistema de abastecimento ou da solução alternativa, da captação da água bruta até o consumidor final, por meio da organização e sistematização das práticas de

gerenciamento aplicadas à água para consumo humano. Estabelece, ainda, planos de contingência para responder a falhas no sistema ou eventos ou imprevistos, que podem ter um impacto na qualidade da água (Brasil, 2012).

Apesar dos avanços, existem algumas fragilidades, indagações e desafios que colocam em dúvida a eficácia e viabilidade do atendimento às exigências da atual portaria. Primeiramente, existe pouca integração com outras políticas e normativos, inclusive as que são referentes à qualidade da água bruta nos mananciais superficiais e subterrâneos (Valadão et al.,2022). Outra fragilidade é que o monitoramento da qualidade da água pode ser prejudicado devido à desigualdade regional, a exemplo das áreas rurais e remotas.

Mesmo que a portaria vigente represente um grande avanço no número e nos limites máximos dos parâmetros de qualidade a serem monitorados, a legislação brasileira não evoluiu no sentido de viabilizar uma melhoria no controle e vigilância da qualidade da água realizado pelos prestadores de serviço, em especial nos sistemas de abastecimento e soluções alternativas afastadas dos grandes centros urbanos e gerenciados pelas entidades municipais, uma vez que na grande maioria desses casos não há sustentabilidade econômico-financeira do serviço (Lacerda, 2024).

Muitas vezes as áreas rurais carecem de infraestrutura adequada para tratar a água e monitorar sua qualidade conforme é exigido pela portaria. Há necessidade de capacitação técnica dos agentes envolvidos com o serviço de abastecimento dessas áreas e os custos financeiros são elevados para executar as coletas e análises laboratoriais. Para Torquato (2022), é válido e reconhecido todos os estudos pertinentes para as atualizações da portaria de potabilidade durante todos esses anos, porém, ainda é preciso explorar mais as diversas características encontradas nas regiões do país.

3.5 Planos de Segurança da Água

A Organização Mundial da Saúde (OMS) considera três requisitos básicos e essenciais para garantia da segurança da água potável: estabelecer metas de qualidade da água, a exemplo das listas de indicadores e seus valores padrões estabelecidos por regulamentações; aplicar a avaliação e gestão de riscos em toda a cadeia do abastecimento de água, desde os mananciais até o ponto de consumo; e a implementar Planos de Segurança da Água (PSA) que sejam eficientes e constantemente revisados (WHO, 2023). A indicação para implementação de PSAs para controle e vigilância da qualidade da água foi incluída nos normativos de diversos países, a exemplo da União Europeia, Austrália, África do Sul e do Brasil.

O PSA é uma ferramenta desenvolvida pela OMS para auxiliar na identificação das vulnerabilidades de todo um sistema de abastecimento de água ou da solução alternativa, desde a captação da água bruta até o consumidor. Para a OMS, o PSA é uma maneira eficaz de se garantir a segurança e a confiabilidade no serviço de abastecimento por meio de um adequado gerenciamento de risco (WHO, 2023).

As diretrizes gerais brasileiras para a elaboração de PSA foram publicadas pela primeira vez em 2012, pelo Ministério da Saúde (MS), com foco em sistemas de abastecimento urbanos e de médio a grande porte, tendo como principais objetivos prevenir ou minimizar a contaminação da água na captação, reduzir ou remover a contaminação por processos de tratamento apropriados e prevenir a contaminação nas fases de armazenamento, distribuição e manuseio da água potável (Brasil, 2012).

O PSA deve ter como princípios e conceitos (Brasil, 2012; WHO, 2023):

- **Múltiplas barreiras:** busca estabelecer procedimentos nas várias etapas do sistema de abastecimento de água para prevenir, eliminar ou minimizar a contaminação;
- **Boas práticas:** consiste em medidas de controle que devem ser adotadas nas fases de concepção, projeto, construção, operação e manutenção de um sistema para minimizar os riscos à saúde;
- **Análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC):** um enfoque sistemático para identificar perigos e estimar os riscos que podem afetar a potabilidade da água, a fim de estabelecer medidas para controlá-los.
- **Análise de risco:** aplicada com o objetivo de hierarquizar e priorizar os riscos, a partir da avaliação, gestão e comunicação de riscos;

Sendo assim, a metodologia do PSA utiliza uma abordagem preventiva, com as seguintes etapas:

- **Etapas preliminares:** envolvem o planejamento das atividades, o levantamento das informações necessárias e a constituição da equipe técnica multidisciplinar para elaboração e implantação do PSA;
- **Avaliação do sistema:** inclui a descrição do sistema de abastecimento de água, a construção e validação do diagrama de fluxo, a identificação e análise de perigos potenciais e a caracterização de riscos, além do estabelecimento de medidas de controle dos pontos críticos. Envolve a análise da bacia hidrográfica, das etapas de tratamento da água e do sistema de distribuição;

- **Monitoramento operacional:** tem como objetivo controlar os riscos e garantir que as metas de saúde sejam atendidas, a partir das medidas de controle definidas na etapa anterior, a seleção dos parâmetros de monitoramento e o estabelecimento de limites críticos e de ações corretivas;
- **Planos de gestão:** possibilitam a verificação constante do PSA. Constituem o estabelecimento de ações em situações de rotina e emergenciais, a organização da documentação da avaliação do sistema, o estabelecimento de comunicação de risco e a validação e verificação periódica do PSA.

A metodologia do PSA não é considerada uma receita rígida, mas sim um guia que pode ser ajustado para atender às necessidades do sistema de abastecimento de água e da comunidade local, podendo variar em complexidade para se adaptar ao contexto em que está sendo implementado, a exemplo das áreas rurais. As etapas propostas pela OMS são flexíveis e experiências já mostraram que mudanças consideradas pequenas podem fazer a diferença na prática (Corrêa; Ventura, 2021; Baracho; Scalize, 2023; França et al., 2023; Fagundes; Marques, 2024).

3.5.1 Abordagem dos Planos de Segurança da Água em áreas rurais

A implementação PSA em áreas rurais apresenta desafios específicos, conforme destacado por Corrêa (2020), sendo fundamental que a metodologia seja adaptada às particularidades do meio rural. O guia de campo difundido pela OMS para melhorar a segurança da qualidade da água em pequenas comunidades indica que a implementação de um PSA em meios rurais deverá ocorrer em sete etapas: engajar a comunidade e montar um plano em equipe; descrever o sistema de abastecimento de água; identificar e avaliar riscos, eventos perigosos e medidas de controle existentes; desenvolver e implementar uma melhorias do plano; monitorar as medidas de controle e verificar a eficácia do PSA; controlar operações, realizar manutenção e se planejar para emergências; e documentar, rever e melhorar todos os aspectos da implementação do plano (WHO, 2022).

A Organização Panamericana de Saúde (OPAS) também elaborou um manual para desenvolvimento de PSA em pequenas comunidades e considerou que o plano é um instrumento “sob medida para cada prestador", pois tem uma metodologia flexível, que se adapta às especificidades de cada sistema e cada localidade. Para a OPAS, durante a implementação do PSA em comunidades rurais, é fundamental a participação do prestador do serviço, a

colaboração de trabalhadores agrícolas, proprietários de terras, administração pública local, representantes do serviço de saúde e do meio ambiente e os consumidores da água (OPAS, 2012).

França et al. (2023), ao analisar metodologias de implementação do PSA em pequenas comunidades no Brasil e em outros países, concluiu que, nesse contexto, a abordagem do plano deve ser simplificada, com atividades que promovam a participação ativa da população. O estudo também constatou ser necessário: promover oficinas de conscientização para informar a comunidade sobre a importância do PSA e da identificação de riscos e perigos; otimizar a comunicação entre os técnicos responsáveis pelo serviço, operadores e a comunidade, promovendo um diálogo mais eficaz; e integrar o desenvolvimento do PSA a projetos que divulguem e incentivem práticas de água, saneamento e higiene, como as práticas WASH (*Water, Sanitation and Hygiene*).

No Brasil, a Diretriz 7 do PNSR, do eixo tecnológico, estabelece a efetivação do controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano em soluções alternativas coletivas e individuais de abastecimento de água das comunidades rurais, sendo a Estratégia 7.8 a fomentação à implementação de Planos de Segurança da Água. A Portaria nº 888/2021 do MS corrobora com o PNSR, no Capítulo VIII, Art. 49, quando impõe que a autoridade pública de saúde deve exigir dos responsáveis pelos sistemas de abastecimento e soluções alternativas coletivas a elaboração e implementação de PSAs, conforme metodologia e o conteúdo preconizados pela OMS ou definidos em diretrizes do próprio ministério (Brasil, 2019; Brasil, 2021).

Correa e Ventura (2021) elaboraram um modelo conceitual de PSA para monitoramento de riscos à contaminação da água em áreas rurais, desde a captação até a distribuição. A metodologia contemplou a caracterização dos eventos perigosos, a concepção de um modelo computacional, a consulta a especialistas e a calibração e aplicação do modelo em propriedades rurais. O estudo concluiu que, devido as especificidades dos riscos existentes no meio rural, o modelo computacional proposto pode mesurar os riscos, avaliar a salubridade rural no contexto nacional, subsidiar o monitoramento dos recursos hídricos e ampliar a capacidade de gerenciamento do setor.

Fagundes e Marques (2024) adaptaram as ferramentas metodológicas do PSA para a avaliação de riscos em soluções alternativas coletivas da área rural do município de Travesseiro (RS). Os resultados evidenciaram a falta de dados sobre a infraestrutura de abastecimento rural, a escassez de medidas de controle e a ausência de monitoramento em diferentes níveis.

Ademais, foi ressaltado o potencial dos PSAs simplificados para planejar melhorias, subsidiar a gestão de recursos hídricos e orientar investimentos em saneamento, além de reforçar a importância da criação de um banco de dados nacional para mapeamento de perigos e apoio à tomada de decisões.

Entre os anos de 2022 e 2024 foi executado, a partir de uma parceria entre a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e a Funasa /CE, um projeto para elaboração de PSAs em sistemas de abastecimento e soluções coletivas em comunidades rurais do estado do Ceará. A metodologia aplicada foi executada em nove etapas: planejamento das atividades; formação da equipe técnica multidisciplinar; elaboração do diagnóstico técnico-participativo dos sistemas de abastecimento de água e soluções alternativas coletivas; indicação de riscos e medidas de controle; planejamento de melhorias; análise da eficácia dos PSAs; relatórios de rotina, emergência e contingência; relatório de testagem de um modelo de monitoramento de qualidade da água; e a produção de um termo de referência com a metodologia utilizada (Funasa e UFCG, 2024).

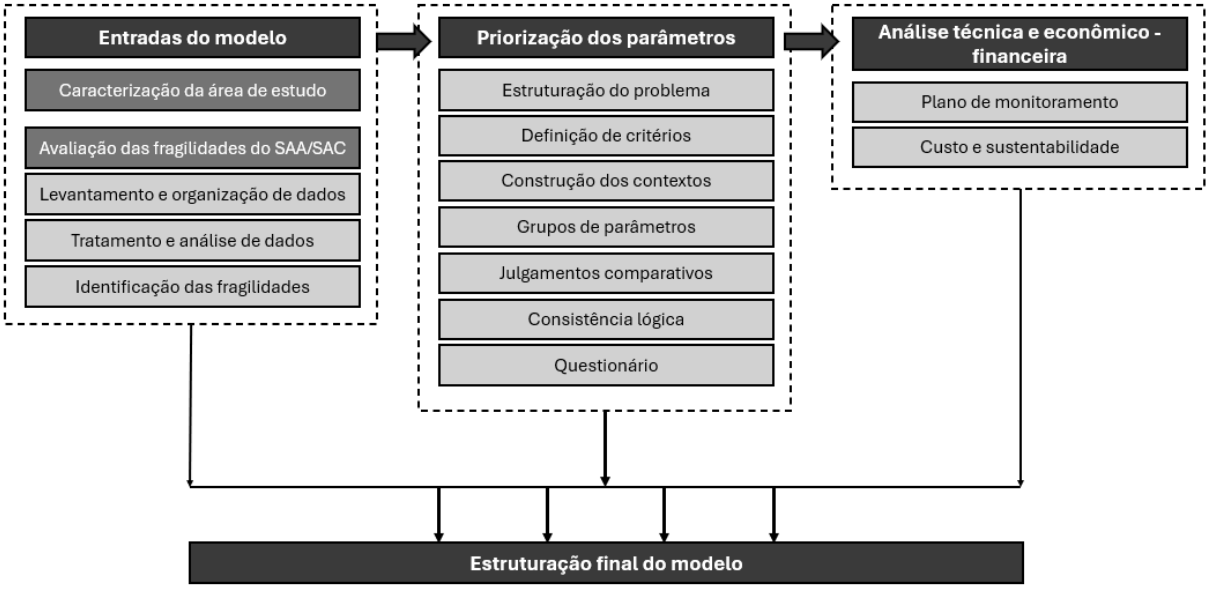
A experiência de implementação de PSAs nas comunidades rurais do Ceará contou com a participação de representantes das prefeituras, integrantes da equipe técnica do Sistema Integrada de Saneamento Rural (Sisar), operadores dos sistemas e soluções de abastecimento, representantes dos comitês de bacias hidrográficas, agentes de saúde, presidentes das associações de moradores e consumidores. Durante todo o processo foram utilizadas ferramentas que incentivaram a participação da comunidade na elaboração dos diagnósticos, como cartazes, mapas, adesivos, questionários e diagramas de fluxo (Funasa e UFCG, 2024).

As experiências recentes de implementação de PSAs em áreas rurais destacam a necessidade de flexibilizar sua metodologia e estratégias. Para garantir a efetividade do plano, é fundamental não apenas considerar as condições locais, mas também avaliar as capacidades dos responsáveis pelo abastecimento, simplificar as etapas do processo, viabilizar a participação da comunidade e adotar ferramentas que contribuam para a construção de um PSA adequado ao contexto em que será aplicado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 3 esquematiza a metodologia utilizada no desenvolvimento do modelo proposto.

Figura 3 - Estrutura da metodologia da pesquisa



Fonte: Própria autora (2026).

4.1 Entradas do modelo

Os modelos conceituais constituem representações simplificadas de um sistema, desenvolvidas a partir da compreensão de seu funcionamento e usualmente expressas por descrições verbais e gráficas, contemplando elementos como os limites do sistema, suas entradas, saídas e variáveis (Gupta et al., 2012).

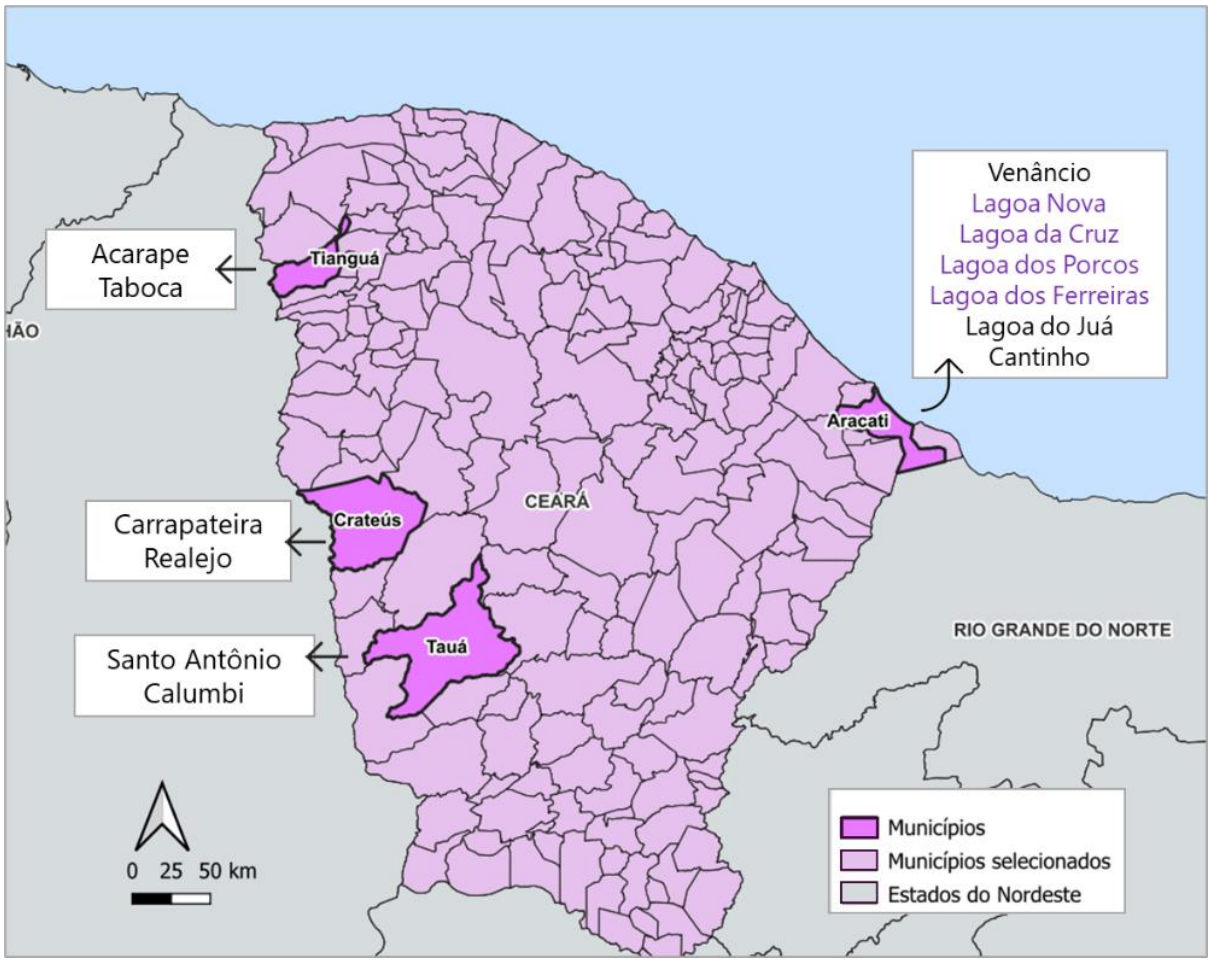
A construção do modelo conceitual proposto baseou-se na integração de diferentes fontes de informação consideradas essenciais para subsidiar a tomada de decisão relacionada às ações de controle e vigilância da qualidade da água em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e Soluções Alternativas Coletivas (SAC) rurais. Essas informações foram organizadas em dois componentes: caracterização da área de estudo e avaliação das fragilidades e desafios dos sistemas e soluções de abastecimento. A integração desses dados, considerando os normativos nacionais vigentes para água potável e água dos mananciais, forneceu elementos necessários para as etapas subsequentes da elaboração do modelo.

O modelo foi estruturado em conformidade com o arcabouço normativo brasileiro para qualidade da água, abrangendo os requisitos estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888/2021 e nas Resoluções Conama nº 357/2005, nº 396/2008 e nº 430/2011.

4.1.1 Caracterização da área de estudo

Os sistemas e soluções de abastecimento selecionados para a execução da pesquisa fizeram parte do TED nº 006/2021, projeto de parceria entre a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e a Funasa, intitulado "Capacitação Técnica e Elaboração de 10 Planos de Segurança da Água de Sistemas Simplificados ou Soluções Coletivas de Abastecimento de Água em Comunidades Rurais do estado do Ceará", que ocorreu entre 2022 e 2024. As comunidades contempladas estão localizadas nos municípios de Aracati/CE, Crateús/CE, Tauá/CE e Tianguá/CE (Figura 4).

Figura 4 - Localização das comunidades rurais da pesquisa



Fonte: Adaptado de Funasa e UFCG (2023).

O Quadro 2 é composto por informações gerais sobre as comunidades selecionadas. Com exceção da comunidade Cantinho, a responsabilidade da prestação dos serviços de abastecimento de água das comunidades é do Sistema Integrado de Saneamento Rural (Sisar). A regional Bacia do Baixo Jaguaribe (BBJ) faz a gestão dos sistemas existentes em Aracati/CE; o Sisar Bacia do Parnaíba (BPA) é responsável pelas comunidades dos municípios de Crateús/CE e Tianguá/CE; e o Sisar da Bacia do Alto Jaguaribe (BAJ) em Tauá/CE.

Quadro 2 - Informações das comunidades rurais do estado do Ceará

Município	Comunidade	Área (km²)	População (hab)	Serviço de Abastecimento de Água			
				Modalidade	Manancial	Ligações totais	Ligações ativas
Aracati	Lagoa Nova	2,7	149	SAA	Superficial	840	653
	Lagoa da Cruz	3,1	147				
	Lagoa dos Porcos	0,6	272				
	Lagoa dos Ferreiras	0,7	147				
	Lagoa do Juá	3,1	195	SAA	Superficial	63	43
	Venâncio	2,3	185	SAA	Subterrâneo	95	80
	Cantinho	1,9	478	SAC	Subterrâneo	190	-
Crateús	Carrapateiras	2,7	378	SAA	Subterrâneo	378	296
	Realejo	3,7	900	SAA	Subterrâneo	510	420
Tauá	Santo Antônio	0,5	210	SAA	Subterrâneo	123	80
	Calumbi	6,5	250	SAA	Subterrâneo	119	95
Tianguá	Acarape	1,7	1231	SAA	Subterrâneo	482	453
	Tabocas	2,4	418	SAA	Subterrâneo	197	168

Fonte: Própria autora (2024).

As atividades de campo que subsidiaram a caracterização dos sistemas e soluções de abastecimento e a identificação das fragilidades e riscos da área de estudo foram realizadas em paralelo à execução do TED nº 006/2021, durante a elaboração do Produto 3, referente aos diagnósticos dos SAAs e SAC. As atividades foram desenvolvidas entre outubro de 2022 e março de 2023 e contemplaram visitas técnicas e oficinas técnico-participativas em todas as comunidades abrangidas pelo projeto.

As visitas técnicas contaram com a participação da equipe técnica da UFCG, representantes da Funasa, equipes técnica, gestora e social das regionais do Sisar, operadores dos sistemas e soluções de abastecimento e demais atores envolvidos. Durante as atividades, foram realizadas inspeções das diferentes etapas do abastecimento, incluindo captação, tratamento, reservação e distribuição da água, bem como a observação das condições do entorno. As informações foram obtidas por meio de observação direta, registros fotográficos,

diálogo com os operadores e população, sendo todas as informações sistematizadas em roteiros de campo.

Durante as visitas, também foram realizadas análises *in situ* da qualidade da água em pontos representativos dos sistemas e soluções de abastecimento, como captações, estações de tratamento ou dispositivos utilizados para a desinfecção da água, pontas de rede e pontos vulneráveis, como escolas e unidades de apoio à saúde (Figura 5). Foram determinados os parâmetros turbidez, cloro residual livre, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido, por meio de equipamentos portáteis de leitura em campo, visando a uma avaliação preliminar da qualidade da água fornecida. Os resultados obtidos foram utilizados de forma complementar aos resultados das análises laboratoriais desenvolvidas no âmbito dos Planos de Segurança da Água elaborados no TED nº 006/2021, bem como às observações técnicas e às demais informações levantadas durante o diagnóstico.

Figura 5 – Análises da qualidade de água nas comunidades rurais situadas em Aracati/CE (a), Crateús/CE (b), Tauá/CE (c) e Tianguá/CE (d).



Fonte: Própria autora (2026).

Também foram realizadas as oficinas participativas, Figuras 6 a 9, que envolveram, além das equipes participantes das visitas técnicas, representantes das prefeituras, comitês de

bacias hidrográficas, agentes de saúde, presidentes das associações comunitárias e moradores das comunidades. A mobilização dos participantes foi realizada por meio de convites digitais. Nas oficinas, utilizou-se a metodologia da Nova Cartografia Social, baseada na construção de representações cartográficas do território a partir da perspectiva dos diferentes atores sociais envolvidos (Almeida, 2013). Para facilitar a aplicação da metodologia, foram utilizados adesivos previamente elaborados para representar elementos do espaço físico, social e produtivo no qual os sistemas e soluções de abastecimento estavam inseridos.

As informações provenientes das atividades de campo foram utilizadas no presente estudo como subsídio para a caracterização dos sistemas e soluções de abastecimento e para a identificação das fragilidades, perigos e riscos considerados nas etapas subsequentes da pesquisa e na estruturação do modelo conceitual.

Figura 6 – Oficinas participativas realizadas em Aracati/CE, nas comunidades rurais Lagoa da Cruz (a), Lagoa do Juá (b), Venâncio (c) e Cantinho (d).



Fonte: Própria autora (2026).

Figura 7 – Oficinas participativas realizadas em Crateús/CE, nas comunidades rurais Carrapateira (a) e Realejo (b).



Fonte: Própria autora (2026).

Figura 8 – Oficinas participativas realizadas em Tauá/CE, nas comunidades rurais Calumbi (a) e Santo Antônio (b).



Fonte: Própria autora (2026).

Figura 9 – Oficinas participativas realizadas em Tianguá/CE, nas comunidades rurais Acarape (a) e Tabocas (b).



Fonte: Própria autora (2026).

4.1.1.1 *Aracati*

4.1.1.1.1 *SAA Lagoa dos Encantos (Lagoa Nova, Lagoa da Cruz, Lagoa dos Porcos e Lagoa dos Ferreiras)*

O SAA Lagoa dos Encantos atende as comunidades Lagoa Nova, Lagoa da Cruz, Lagoa dos Porcos e Lagoa dos Ferreiras, contempladas neste estudo. Possui como manancial o Canal do Trabalhador (Figura 10a), com captação por meio de uma bomba automatizada, sendo o tratamento da água realizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) situada na localidade Lagoa do Teodósio (Figura 10b). Além das localidades estudadas, o sistema também abastece Lagoa do Teodósio, Carnaúbas I e II, Lagoa do Pedro, Lagoa das Panelas, Lagoa do Cedro e Lagoa do Preá.

O sistema foi construído em 2015 com captação no Canal do Trabalhador, estrutura adotada para transportar a água entre o Rio Jaguaribe e o Açude Pacajus. Durante o período de estiagem, entre os meses de setembro e dezembro, ocorre redução da vazão do canal, o que pode comprometer a qualidade da água do manancial. Além do abastecimento humano, o manancial é utilizado para atividades como pesca, recreação e dessedentação de animais.

Figura 10 - Estação de Tratamento de Água do SAA Lagoa dos Encantos



Fonte: Própria autora (2024).

A ETA Lagoa dos Encantos possui capacidade de fornecer 23 m³/h de água e realiza o tratamento convencional, com as etapas de pré-cloração, coagulação, decantação, filtração e desinfecção. A operação da estação é gerenciada por dois operadores, que, além de garantir o funcionamento do processo, também atendem às solicitações de manutenções em todo o sistema.

A primeira etapa do tratamento da água do canal é a aplicação do coagulante policloreto de alumínio (PAC polímero) por meio de um dosador automático. Em seguida, a água é encaminhada para a pré-cloração com hipoclorito de sódio, sedimentação em decantador de fibra de vidro e filtração em filtro de fluxo ascendente com leito de areia e volume de 10 m³. A limpeza dos filtros é realizada duas vezes ao dia, mas pode variar de acordo com as alterações da qualidade da água do canal durante o ano.

Na etapa de desinfecção é utilizado o hipoclorito de sódio, produzido na casa de química da própria ETA por meio do processo de eletrólise da salmoura (Figura 10c). Os operadores regulam a quantidade de desinfetante aplicado na água direto nos dosadores, visto que os cloradores estão conectados ao sistema de fabricação e o funcionamento acontece sem interrupções. Não há uma dosagem padronizada, sendo a quantidade de hipoclorito de sódio utilizado baseada no treinamento e experiência adquirida pelos operadores ao longo do tempo e no acompanhamento da concentração de cloro na rede de distribuição, executada por testes de colorimetria. Adicionalmente, o sistema dispõe de cloradores de reforço instalados em pontos estratégicos da rede de distribuição para manutenção do residual e garantia da qualidade da água distribuída.

A água tratada é encaminhada para quatro reservatórios, sendo um reservatório apoiado, com volume de 35,0 m³, e três reservatórios elevados de 46,0 m³ cada, que distribuem a água para as comunidades atendidas pelo SAA. O acesso aos reservatórios é restrito com tampa, utilizada apenas quando os operadores realizam manutenções ou limpezas, a cada quatro meses.

Quanto à distribuição, o sistema que atende as comunidades Lagoa Nova, Lagoa dos Porcos, Lagoa dos Ferreiras e Lagoa da Cruz possui aproximadamente 40,4 km de extensão, sendo constituído por tubulações de PVC com diâmetros variando entre 60 mm e 150 mm. Ao longo da rede, foram identificadas 17 pontas de rede, das quais oito possuem válvulas de descarga destinadas à limpeza das tubulações, ao esvaziamento de trechos para execução de reparos e a outras atividades operacionais. Durante as visitas técnicas, observou-se que parte dessas estruturas se encontrava protegida por caixas de concreto, enquanto em outros pontos as tubulações permaneciam expostas. A equipe técnica do Sisar BBJ relatou a ocorrência frequente de rompimentos na rede localizada ao longo da estrada principal das comunidades Lagoa dos Porcos e Lagoa dos Ferreiras, especialmente durante os serviços de nivelamento e terraplanagem realizados após o período chuvoso.

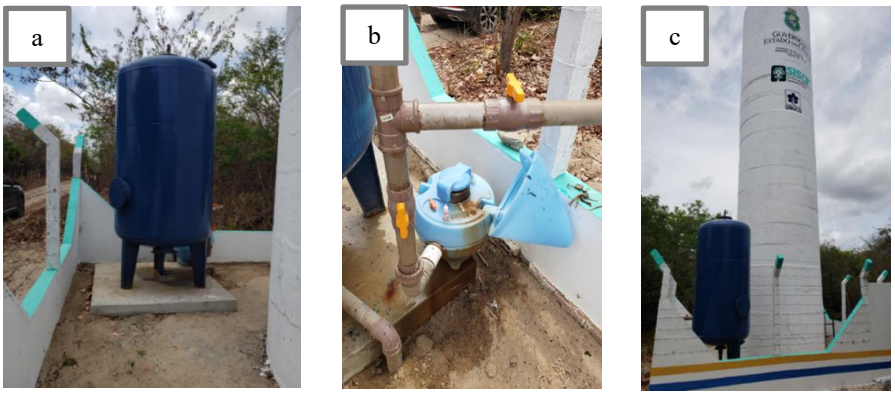
4.1.1.1.2 *SAA Lagoa do Juá*

O SAA Lagoa do Juá também é suprido pelo Canal do Trabalhador e foi construído em 2008, com captação feita por meio de uma bomba automatizada. A água bruta do canal é tratada na ETA Lagoa do Juá, situada na própria comunidade, e um operador é responsável por gerenciar todo o processo e atender outras solicitações relacionadas a operação e manutenção do sistema. A estação possui duas etapas de tratamento: filtração e desinfecção.

A filtração é realizada em filtro de fluxo descendente (Figura 11a), composto por areia e colmeias como materiais filtrantes, com volume total de 2,5 m³. A substituição do meio filtrante é realizada semestralmente pela equipe do Sisar BBJ. A limpeza do filtro ocorre, em geral, uma vez ao dia, podendo ter sua frequência ajustada em função das características da água bruta captada no Canal do Trabalhador, avaliadas visualmente pelo operador responsável.

A desinfecção da água é realizada com ácido tricloroisocianúrico em pastilhas, com 90% de teor de cloro ativo, fornecido pelo Sisar BBJ e aplicado por meio de um clorador não automatizado com capacidade para 3,5 kg de produto (Figura 11b). O equipamento é abastecido semanalmente e a dosagem do agente desinfetante é definida com base na experiência do operador, sendo ajustada a partir dos resultados de análises de cloro residual realizadas por colorimetria na rede de distribuição. Após o tratamento, a água é encaminhada para um reservatório elevado com capacidade de 17,0 m³ (Figura 11c), cujo acesso é restrito e destinado exclusivamente às atividades de manutenção e limpeza periódica.

Figura 11 - Estação de Tratamento de Água, filtro descendente (a), clorador (b) e reservatório (c) do SAA Lagoa do Juá



Fonte: Própria autora (2024).

A rede de distribuição do SAA Lagoa do Juá possui 3,92 km de extensão, sendo composta integralmente por tubulações de PVC com diâmetro de 60 mm. Das 63 ligações existentes no sistema, 43 encontram-se ativas. Ao longo da rede foram identificadas quatro

pontas de rede, das quais apenas duas dispõem de válvulas de descarga destinadas à limpeza das tubulações e à execução de atividades operacionais. Durante as visitas técnicas, foram observados trechos com tubulações expostas ao livre acesso de pessoas e animais. Adicionalmente, a equipe técnica do Sisar BBJ relatou a ocorrência de rompimentos em alguns pontos da rede, associados ao tráfego de veículos, à degradação do material pela exposição prolongada à radiação solar e a outros fatores operacionais.

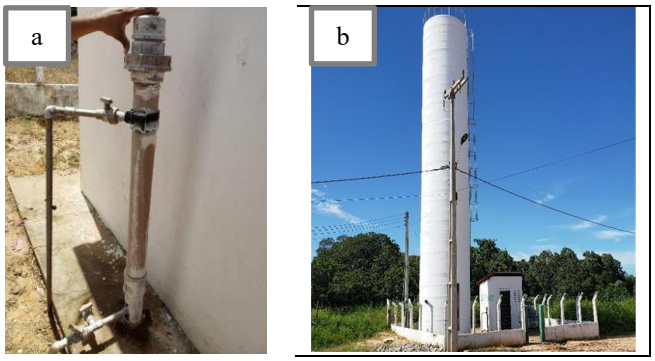
4.1.1.1.3 *SAA Venâncio*

O SAA que abastece a comunidade Venâncio realiza a captação de água por meio de poço tubular profundo com 30,0 m de profundidade, equipado com bomba de acionamento automatizado ou manual. Além do abastecimento humano, o manancial subterrâneo é utilizado para atividades como irrigação, dessedentação de animais e captação de água para outros usos pelos moradores da comunidade. Segundo relatos da população local, existem atividades potencialmente poluidoras nas proximidades da área de captação, disposição inadequada de resíduos sólidos e lançamento de efluentes domésticos, ações que podem contaminar o solo e a água subterrânea.

A predominância do uso do solo é para atividades agrícolas, com destaque para o cultivo de feijão, milho e caju. A população da comunidade relatou a utilização de agrotóxicos nas lavouras de milho e feijão, prática que pode representar risco à qualidade da água subterrânea. Adicionalmente, observou-se nos últimos anos a expansão das atividades de aquicultura, especialmente da piscicultura e da carcinicultura, sendo relatado que parte dos efluentes gerados é lançada sem tratamento em corpos d'água da comunidade (Funasa e UFCG, 2023).

O SAA Venâncio adota como tratamento da água o processo da simples desinfecção, por meio da aplicação de pastilhas de ácido tricloroisocianúrico com 90% de teor de cloro ativo, fornecidas pelo Sisar BBJ e dosadas em clorador não automatizado com capacidade para 4,0 kg de produto (Figura 12a). O equipamento é abastecido a cada quatro dias pelo operador responsável pelo sistema. Não há dosagem padronizada do agente desinfetante, sendo a quantidade aplicada definida com base na experiência operacional do operador e nos resultados das análises de cloro residual livre executadas por colorimetria na rede de distribuição. Após o tratamento, a água é armazenada em reservatório elevado com capacidade de 45 m³, cujo acesso é restrito às atividades de manutenção e limpeza (Figura 12b). A estrutura foi construída em 2021 para substituir o reservatório apoiado anteriormente existente e, até a realização das visitas técnicas em 2022, ainda não haviam sido executadas limpezas no reservatório.

Figura 12 - Poço tubular, clorador (a) e reservatório de distribuição (b) do SAA da comunidade Venâncio



Fonte: Própria autora (2024).

A rede de distribuição possui 7,87 km de extensão e o sistema conta com 95 ligações, das quais 80 encontram-se ativas. As tubulações são constituídas de PVC, com diâmetros variando entre 32 mm e 75 mm. Ao longo da rede foram identificadas seis pontas de rede, sendo que apenas uma dispõe de válvula de descarga destinada à limpeza das tubulações e à execução de atividades operacionais. Durante as visitas técnicas, foram relatadas ocorrências frequentes de rompimentos em alguns trechos da rede, associadas principalmente às atividades de terraplanagem realizadas para pavimentação das vias de acesso à comunidade.

4.1.1.1.4 *SAC Cantinho*

A comunidade Cantinho não dispõe de sistema de abastecimento de água, sendo o atendimento realizado por meio de sete soluções alternativas coletivas do tipo chafariz, implantadas com recursos de programas dos governos Federal e Estadual. Desses, seis são abastecidos com água bruta e um foi projetado para fornecer água tratada por meio de dessalinizador instalado pela Superintendência de Obras Hidráulicas (Sohidra).

A captação ocorre por meio de seis poços, sendo um deles responsável pelo abastecimento de dois chafarizes. Segundo informações dos moradores, três dos poços são tubulares profundos e três são poços rasos. Além dos poços que abastecem os chafarizes, existem poços particulares utilizados para abastecimento humano, dessedentação de animais e irrigação. Em virtude da ausência de representantes dos prestadores de serviço durante as visitas técnicas, não foi possível obter informações detalhadas sobre as características dos sistemas de captação existentes.

Não há qualquer tipo de tratamento da água em seis dos sete chafarizes da comunidade. Apenas a água captada no poço que abastece o dessalinizador recebe tratamento, sendo o sistema operado por um responsável encarregado das atividades de manutenção e da reposição dos produtos necessários para funcionamento. Após o processo de dessalinização por osmose reversa, a água é submetida à desinfecção e armazenada em reservatório com capacidade de 5.000 L, de onde é posteriormente disponibilizada à população por meio de chafariz. Segundo informações obtidas, essa água é utilizada exclusivamente para beber. Também foi relatado que, nos últimos anos, não foram realizadas manutenções no equipamento por parte do prestador de serviço, nem ações destinadas à avaliação da eficiência do dessalinizador ou ao monitoramento da qualidade da água fornecida.

Os seis chafarizes restantes estão associados a estruturas de reservação (Figura 13). Durante as visitas técnicas, constatou-se que a maioria dos reservatórios possuía acesso restrito por meio de tampas, removidas apenas para a realização de atividades de manutenção e limpeza. Entretanto, os operadores responsáveis pela operação dos chafarizes, que trabalham de forma voluntária, não souberam informar a data da última limpeza nem a periodicidade adotada para a higienização das estruturas de armazenamento.

Figura 13 - Chafarizes que atendem a comunidade Cantinho



Fonte: Própria autora (2024).

Além dos chafarizes, a população utiliza soluções alternativas individuais de abastecimento, como cisternas de placas ou de polietileno. Foi constatado que alguns moradores da comunidade Cantinho armazenam a água proveniente dos chafarizes e de outras fontes de abastecimento em caixas d'água, tanques ou baldes para uso posterior. A comunidade não dispõe de rede de distribuição, existindo apenas algumas ligações diretas realizadas por meio de mangueiras de polietileno ou PVC conectadas aos reservatórios dos chafarizes para atendimento de residências próximas.

A Prefeitura Municipal de Aracati não realiza o monitoramento da qualidade da água fornecida à população pelas soluções de abastecimento existentes na comunidade. Além disso, segundo relato da agente comunitária de saúde, o fornecimento de solução de hipoclorito de sódio a 2,5%, destinado à desinfecção da água armazenada nas soluções individuais de abastecimento, ocorre de forma intermitente. Na ocasião das visitas técnicas, foi informado que a distribuição do produto não era realizada havia mais de três meses.

Importante destacar que, o uso e ocupação do solo da comunidade é predominantemente destinada a atividades agrícolas. De acordo com a população, há utilização de agrotóxicos nas áreas cultivadas, prática que pode representar risco à qualidade do solo e das águas dos poços locais, com potenciais impactos à saúde da população. Adicionalmente, foram identificadas práticas de queima de resíduos sólidos e disposição inadequada de efluentes domésticos (Funasa e UFCG, 2023).

4.1.1.2 *Crateús*

4.1.1.2.1 *SAA Carrapateira*

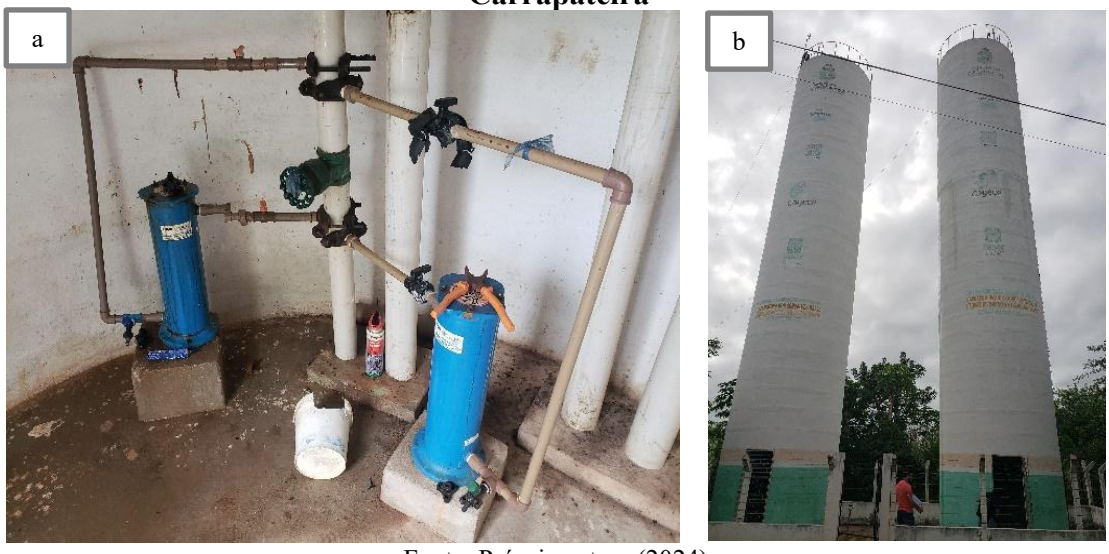
O sistema que atende a comunidade Carrapateira é abastecido por um poço tubular profundo, cuja captação é realizada por meio de bomba acionada por temporizador instalado no próprio poço, com possibilidade de operação manual. Além do abastecimento humano, o manancial é utilizado para atividades como irrigação e dessedentação de animais. O SAA dispõe ainda de dois poços de reserva, utilizados para complementar o abastecimento durante o período seco, entre os meses de maio e dezembro de todos os anos (Funasa e UFCG, 2022). Nesses casos, a água captada é injetada diretamente na rede de distribuição, sem passar por etapas de tratamento.

O tratamento da água consiste exclusivamente na etapa de desinfecção, realizada na base do reservatório por um operador responsável pela operação e manutenção do sistema. O

agente desinfetante utilizado é o ácido tricloroisocianúrico em pastilhas, com 90% de teor de cloro ativo, fornecido pelo Sisar BPA mediante solicitação do operador. A aplicação ocorre por meio de clorador não automatizado, abastecido com aproximadamente 2,0 kg de produto a cada 15 dias (Figura 14a). A dosagem adotada não é definida com base no consumo da população, sendo ajustada a partir da experiência do operador e dos resultados das análises de cloro residual realizadas por colorimetria na rede de distribuição. Adicionalmente, foram instalados dois cloradores de reserva para garantir a continuidade da desinfecção em caso de falhas no equipamento principal.

A água tratada é armazenada em dois reservatórios elevados, com capacidade de 48,85 m³ cada (Figura 14b). O acesso às estruturas é restrito e as atividades de manutenção e limpeza são realizadas anualmente. A água é então encaminhada para a rede de distribuição, que possui aproximadamente 10,14 km de extensão, sendo composta por tubulações de PVC com diâmetros variando entre 60 mm e 75 mm. O sistema possui 378 ligações, das quais 296 encontram-se ativas. Ao longo da rede foram identificadas nove pontas de rede, sendo que apenas uma dispõe de válvula de descarga destinada à limpeza das tubulações, além de outras três válvulas instaladas em trechos intermediários. Durante as visitas técnicas, foram observados pontos com tubulações expostas ao acesso de pessoas e animais. Adicionalmente, a equipe operacional relatou a ocorrência frequente de rompimentos em trechos da rede que atravessam riachos intermitentes e em locais sujeitos a serviços de nivelamento e terraplanagem das estradas após o período chuvoso.

Figura 14 – Poço tubular, cloradores (a) e reservatórios de distribuição (b) do sistema de Carrapateira



Fonte: Própria autora (2024).

Quanto ao uso e ocupação do solo, destacam-se atividades de criação de bovinos, ovinos, suínos e aves, além de áreas destinadas à agricultura e pastagens. Entre as principais culturas desenvolvidas na comunidade estão hortaliças, feijão, milho, melancia e jerimum. De acordo com relatos da população, há utilização de pesticidas e agrotóxicos nessas atividades, prática que pode representar risco à qualidade das águas subterrâneas utilizadas para o abastecimento do SAA Carrapateira (Funasa e UFCG, 2023).

4.1.1.2.2 *SAA Realejo*

O SAA da comunidade Realejo utilizou o Açude Realejo como manancial até 2013. Contudo, a captação foi desativada em razão da redução do volume armazenado e da deterioração da qualidade da água do reservatório, associada, entre outros fatores, a processos de eutrofização. Como alternativa para garantir o abastecimento da população, foram perfurados cinco poços tubulares profundos, dos quais três permanecem em operação e dois são utilizados como reserva para situações emergenciais. Atualmente, a captação é realizada por meio de sistema de bombeamento automatizado.

Além do abastecimento humano, o aquífero é utilizado para atividades como irrigação e dessedentação de animais. Segundo relatos da população, há utilização de substâncias químicas nas proximidades das áreas de captação, bem como disposição inadequada de resíduos sólidos domiciliares, fatores que podem representar riscos à qualidade da água subterrânea utilizada para o abastecimento da comunidade.

O tratamento da água é do tipo simplificado e realizado em uma ETA localizada próxima ao antigo manancial do sistema, sendo executada por dois operadores (Figura 15a). O agente desinfetante utilizado é o ácido tricloroisocianúrico em pastilhas, com 90% de teor de cloro ativo, fornecido pelo Sisar BPA. A aplicação ocorre por meio de clorador não automatizado com capacidade para 10,0 kg de produto, abastecido pelos operadores a cada 15 dias com aproximadamente 5,0 kg do desinfetante. A dosagem empregada não segue procedimento padronizado, sendo ajustada com base nos resultados das análises de cloro residual livre por colorimetria na rede de distribuição. O sistema não dispõe de cloradores de reforço em outros pontos da rede.

Figura 15 - Estação de tratamento (a) e reservatórios de distribuição (b) do SAA da comunidade Realejo



Fonte: Própria autora (2024).

A água tratada é armazenada em três reservatórios, sendo um apoiado e dois elevados, todos com capacidade de 32,5 m³ (Figura 15b). O acesso às estruturas é restrito e ocorre apenas para atividades de manutenção e limpeza, realizadas em intervalo de cinco meses. Após a reservação, a água é distribuída por uma rede com 6,33 km de extensão, composta por tubulações de PVC, que atende 510 ligações, das quais 420 encontram-se ativas. Ao longo da rede foram identificadas 13 pontas de rede, sendo que sete dispõem de válvulas de descarga destinadas à limpeza das tubulações.

Durante as visitas técnicas, observou-se que essas estruturas permaneciam expostas, tornando-se mais suscetíveis a interferências externas e potenciais fontes de contaminação. Os trechos mais vulneráveis da rede estão localizados em estradas vicinais, onde são frequentes os danos às tubulações decorrentes do tráfego de veículos e da realização de serviços de terraplanagem e pavimentação.

As principais atividades potencialmente poluidoras identificadas na área atendida pelo SAA Realejo são a pecuária e a agricultura. Em informações obtidas durante as visitas técnicas, essas atividades são desenvolvidas com a utilização de pesticidas, agrotóxicos e fertilizantes, práticas que podem representar riscos à qualidade das águas subterrâneas.

4.1.1.3 *Tauá*

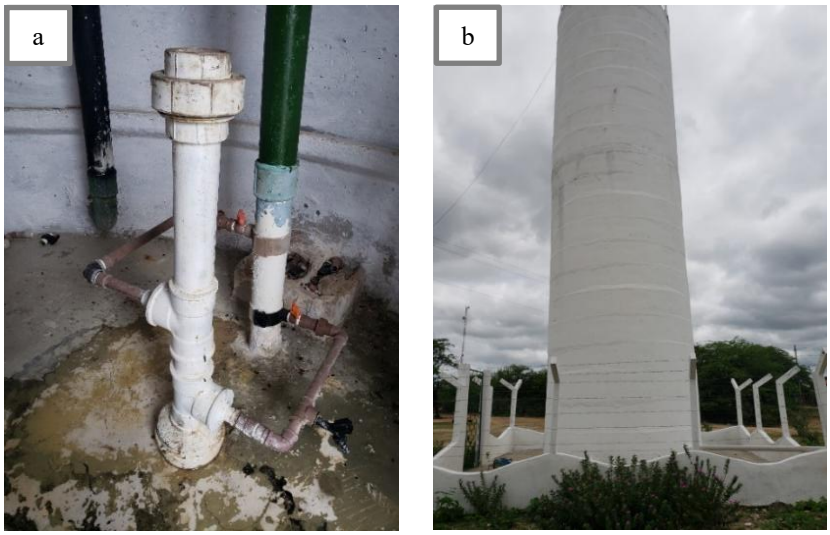
4.1.1.3.1 *SAA Santo Antônio*

O SAA da comunidade Santo Antônio é abastecido por um poço tubular profundo com 60,0 m de profundidade, cuja captação é realizada por meio de bomba com acionamento automatizado ou manual. Além do abastecimento humano, o aquífero é utilizado para atividades como irrigação e dessedentação de animais. A comunidade relatou que há a disposição inadequada de resíduos sólidos e efluentes domésticos nas proximidades da área de captação, sendo uma prática recorrente e que pode representar riscos à qualidade da água subterrânea utilizada para o abastecimento e à saúde da população.

Outra atividade que pode degradar a qualidade das águas subterrâneas na área atendida pelo SAA Santo Antônio é a agropecuária, predominante no território da comunidade. As principais culturas desenvolvidas incluem milho, feijão, melancia, cheiro-verde e abobrinha, com relatos de utilização de pesticidas e agrotóxicos para o controle de pragas nas plantações. Além das atividades agrícolas, também são desenvolvidas atividades pecuárias, com a criação de caprinos, ovinos, bovinos e aves (Funasa e UFCG, 2023).

O tratamento da água é do tipo simplificado, com desinfecção por meio da aplicação de pastilhas de ácido tricloroisocianúrico com 90% de teor de cloro ativo, fornecidas pelo Sisar BAJ. O produto é aplicado pelo operador do sistema em clorador não automatizado com capacidade para 3,0 kg, abastecido duas vezes por semana (Figura 16a). A dosagem empregada não segue procedimento padronizado, sendo ajustada com base nos resultados das análises de cloro residual realizadas por colorimetria na rede de distribuição.

Figura 16 - Clorador (a) e reservatório de distribuição (b) do sistema da comunidade Santo Antônio



Fonte: Própria autora (2024).

O sistema dispõe de dois reservatórios elevados para armazenamento da água tratada, dos quais apenas um está localizado na comunidade Santo Antônio (Figura 16b). Esse reservatório possui capacidade de 30,0 m³, sendo o acesso à estrutura restrito e destinado exclusivamente às atividades de manutenção e limpeza, realizadas semestralmente.

No que se refere à distribuição, a rede possui aproximadamente 2,97 km de extensão, sendo composta por tubulações de PVC com diâmetros variando entre 60 mm e 85 mm. O sistema conta com 123 ligações, das quais 80 encontram-se ativas. Ao longo da rede foram identificadas onze pontas de rede, não havendo válvulas de descarga destinadas à limpeza das tubulações ou ao esvaziamento de trechos para execução de reparos. Durante as visitas técnicas, foram relatadas ocorrências frequentes de rompimentos na tubulação localizada ao longo da estrada principal de acesso à comunidade, especialmente durante os serviços anuais de nivelamento e terraplanagem realizados após o período chuvoso.

4.1.1.3.2 *SAA Calumbi*

O Açude Maniçoba foi utilizado como manancial do SAA Calumbi até 2022. Contudo, a captação foi interrompida em razão da redução do volume e da deterioração da qualidade da água do reservatório. Como alternativa para garantir a continuidade do abastecimento, o Sisar BAJ passou a utilizar um poço tubular profundo com 70 m de profundidade. A captação é realizada por meio de bomba associada a temporizador, operando automaticamente nos períodos entre 6h e 9h e de forma manual no período da tarde.

A principal atividade da comunidade é a agropecuária e foi observado que na área de influência do poço são desenvolvidas atividades agrícolas com utilização de pesticidas e agrotóxicos, segundo a população, além da ocorrência de disposição inadequada de resíduos sólidos e efluentes domésticos.

Um único operador é responsável pela operação do sistema, incluindo o processo de tratamento da água e as atividades de manutenção do SAA. Atualmente, a água captada no poço recebe tratamento simplificado, composto exclusivamente pela etapa de desinfecção, realizada por meio de clorador instalado nas proximidades da estrutura de captação (Figura 17). O agente desinfetante utilizado é o ácido tricloroisocianúrico em pastilhas, com 90% de teor de cloro ativo, fornecido pelo prestador de serviço e aplicado em clorador não automatizado com capacidade para 3,0 kg de produto, abastecido semanalmente. A dosagem empregada não segue

procedimento padronizado, sendo ajustada de acordo com os resultados das análises de cloro residual realizadas na rede de distribuição.

Figura 17 - Captação e clorador do sistema da comunidade Calumbi



Fonte: Própria autora (2024).

A água tratada é encaminhada para dois reservatórios localizados na ETA anteriormente utilizada para o tratamento da água captada no Açude Maniçoba, sendo um reservatório apoiado com capacidade de 10 m³ e um reservatório elevado com capacidade de 21 m³ (Figura 18). O sistema contava ainda com um terceiro reservatório, com capacidade de 18 m³, que foi desativado em razão de problemas estruturais. O Sisar BAJ afirmou que, até o período das visitas técnicas, as atividades de limpeza dos reservatórios não eram realizadas havia pelo menos um ano.

Figura 18 – ETA do sistema da comunidade Calumbi



Fonte: Própria autora (2024).

A rede de distribuição é composta por tubulações de PVC com diâmetros de 60 mm e 75 mm, totalizando aproximadamente 6,77 km de extensão. O sistema possui 119 ligações, das

quais 95 encontram-se ativas. Ao longo da rede foram identificadas seis pontas de rede, nenhuma delas equipada com válvulas de descarga destinadas à limpeza das tubulações. Os rompimentos ocorrem com maior frequência nos trechos mais antigos da rede, especialmente em áreas sujeitas ao tráfego de veículos e à realização de serviços de manutenção e terraplanagem das estradas pela prefeitura.

4.1.1.4 *Tianguá*

4.1.1.4.1 *SAA Acarape*

O sistema que abastece a comunidade Acarape é suprido por três poços tubulares profundos. As bombas associadas a dois dos poços operam de forma automatizada, enquanto o terceiro poço possui sistema de bombeamento controlado por temporizador, mantendo a captação em funcionamento diariamente entre 6h e 21h. Além do abastecimento humano, a água subterrânea é utilizada para atividades como dessedentação de animais e irrigação. Existem atividades agrícolas nas proximidades das áreas de captação, com utilização de substâncias químicas nas plantações. Adicionalmente, foi relatada a presença de resíduos sólidos e efluentes domésticos na área.

O tratamento da água ocorre nas proximidades das estruturas de reservação e é conduzido pelo operador responsável pelo sistema. A simples desinfecção é realizada por meio da aplicação de ácido tricloroisocianúrico em pastilhas, com 90% de teor de cloro ativo. O produto é adicionado em cloradores não automatizados, com capacidade para 3,0 kg no reservatório associado a um dos poços e para 4,0 kg nos dois reservatórios vinculados ao outro poço. O abastecimento dos cloradores ocorre semanalmente, porém a dosagem empregada não segue procedimento padronizado, apenas de acordo com os testes colorimétricos de cloro residual (Figura 19).

Figura 19 - Clorador



Fonte: Própria autora (2024)

Existem três reservatórios, sendo dois elevados e um apoiado (Figura 20). Foi possível identificar apenas a capacidade do reservatório vinculado a um dos poços, que corresponde a 42 m³. As atividades de limpeza das estruturas são realizadas em intervalos que variam entre três e seis meses. Após a reservação, a água é distribuída por uma rede com aproximadamente 7,66 km de extensão, composta por tubulações de PVC com diâmetros variando entre 50 mm e 100 mm. O sistema possui 482 ligações, sendo 453 encontravam-se ativas. Das treze pontas de rede, nenhuma estava equipada com válvulas de descarga destinadas à limpeza das tubulações. A equipe técnica do Sisar BPA e o operador informaram que os rompimentos ocorrem com maior frequência nas ligações domiciliares, em razão da menor profundidade de instalação dessas tubulações, tornando-as mais suscetíveis a danos causados pelo tráfego de veículos.

Figura 20 – Reservatórios do SAA Acarape



Fonte: Própria autora (2024).

4.1.1.4.2 *SAA Tabocas*

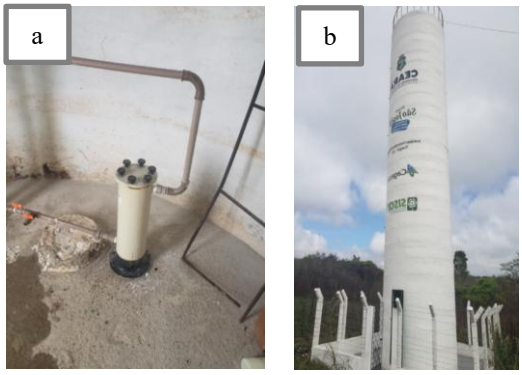
O SAA da comunidade Taboca é abastecido por dois poços tubulares profundos, cuja captação é realizada por meio de bombas com acionamento automatizado, embora também seja possível a operação manual dos equipamentos. Além do abastecimento humano, a água subterrânea é utilizada para outras atividades, como irrigação e dessedentação de animais. Assim como observado em outras comunidades rurais contempladas neste estudo, a área de influência dos poços apresenta atividades agropecuárias com utilização de agrotóxicos e pesticidas, além da disposição inadequada de resíduos sólidos e efluentes domésticos.

O tratamento da água é realizado nas proximidades do reservatório e consiste em uma simples desinfecção, com pastilhas de ácido tricloroisocianúrico com 90% de teor de cloro ativo, aplicadas em clorador não automatizado com capacidade para 2,0 kg de produto (Figura 21a). O abastecimento do equipamento é realizado pelo operador do sistema a cada seis dias. A

dosagem empregada não segue procedimento padronizado, apenas a experiência e constatações do operador nos testes de cloro.

O sistema dispõe de um único reservatório elevado para armazenamento da água tratada, com capacidade de 38,5 m³ (Figura 21b). As atividades de limpeza da estrutura são realizadas semestralmente. Após a reservação, a água é distribuída por uma rede com aproximadamente 5,39 km de extensão, composta por tubulações de PVC com diâmetros de 60 mm e 85 mm. O sistema possui 197 ligações, das quais 168 encontravam-se ativas. Ao longo da rede foram identificadas 16 pontas de rede, nenhuma delas equipada com válvulas de descarga. Nas visitas técnicas foram observados trechos da rede instalados em profundidade reduzida e com tubulações expostas ao ambiente, sujeitas ao acesso de pessoas e animais e também a possíveis rompimentos.

Figura 21 - Clorador (a) e reservatório de distribuição (b) do sistema da comunidade Tabocas



Fonte: Própria autora (2024).

Assim como na SAA da comunidade Acarape, a água bruta do sistema Tabocas apresenta pH entre 3,0 e 4,0 e presença de nitrato. Resultados das análises do PSA constaram a presença de coliformes totais e *E. coli* na água bruta. Na água tratada, em algumas amostras coletadas na ponta da rede, também foi constatada a presença de coliformes totais e *E. coli* e a ausência do CRL. Os moradores da comunidade utilizam a água do sistema para consumo próprio e atividades domésticas ou compram água mineral para beber e cozinhar (Funasa e UFCG, 2023).

4.1.2 Avaliação das fragilidades do serviço de abastecimento nas comunidades

Este tópico foi desenvolvido a partir da aplicação de um protocolo de análise de dados de monitoramento da qualidade da água registrados no Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), encontrado no Apêndice A, complementado por informações obtidas nos Planos de Segurança da Água (PSA), nas visitas

técnicas e em estudos realizados na mesma área de investigação. Essa etapa teve como objetivo obter informações para alimentar o modelo a ser proposto e identificar limitações relacionadas ao controle e vigilância da qualidade da água e à ocorrência de inconformidades nos parâmetros analisados, de modo a subsidiar a definição dos parâmetros prioritários para os planos de monitoramento e das diretrizes do modelo conceitual proposto.

4.1.2.1 Levantamento e organização dos dados

O levantamento de dados foi realizado a partir da busca por registros disponíveis no Sisagua para os municípios e as comunidades rurais contemplados no estudo. Para esta etapa, foram selecionados os dados inseridos no sistema entre os anos de 2021 e 2023, período da vigência da Portaria GM/MS nº 888/2021 e dos levantamentos de dados e visitas técnicas do TED nº 006/2021, com foco nos sistemas e soluções de abastecimento situados em áreas rurais e vinculados às comunidades analisadas.

Os dados foram manipulados no ambiente R Studio (Versão 2025.05.1+213), ferramenta também empregada por Paulino et al. (2022) na análise da cobertura dos registros de fluoreto no Sisagua. Os autores concluíram que a utilização do software se mostrou bastante útil para produção de informação voltada a tomada de decisão na qualidade da água para consumo humano. Sendo assim, foram executadas as ações de definição do diretório de trabalho, importação das planilhas em formato Excel e carregamento dos pacotes necessários à manipulação, organização e exportação das bases de dados. Foram utilizados, principalmente, os pacotes *tidyverse, readxl, janitor, lubridate, dplyr, writexl e openxlsx*, que possibilitaram a leitura dos arquivos, a padronização das variáveis, a filtragem dos registros e a consolidação das tabelas analíticas.

Após a importação dos bancos, procedeu-se à padronização dos nomes das variáveis por meio da função *clean_names*, com o objetivo de eliminar acentos, espaços e inconsistências de nomenclatura entre os campos. Em seguida, foram realizados filtros sucessivos para delimitar os registros de interesse da pesquisa, considerando: (i) município (ii) a zona rural; (iii) a comunidade ou forma de abastecimento analisada; e (iv) os parâmetros de monitoramento selecionados para os resultados físico-químicas e microbiológicas.

Na etapa de organização das bases, os dados foram estruturados em *dataframes* específicos para cada comunidade e para cada grupo de parâmetros analisados. Essa separação permitiu a construção de bases analíticas independentes para as etapas subsequentes de

tratamento estatístico, avaliação da conformidade e identificação de fragilidades no monitoramento da qualidade da água.

4.1.2.2 Tratamento e análise dos dados

a). Dados físico-químicos

A partir da base previamente estruturada, foram filtrados os registros correspondentes aos sistemas e soluções de abastecimento de interesse, entre 2021 e 2023, mantendo-se apenas os dados referentes aos parâmetros cloro residual livre (CRL), cor aparente e turbidez, classificados no Sisagua como parâmetros básicos e de rotina.

Na etapa de tratamento, os resultados analíticos foram convertidos para formato numérico, com padronização da representação decimal, e os campos de classificação da conformidade foram ajustados para uniformização das nomenclaturas presentes no banco de dados. Adicionalmente, foi necessária uma nova classificação dos resultados, denominada "conclusão corrigida", uma vez que parte dos registros ainda adotava os critérios de conformidade da norma anterior à Portaria GM/MS nº 888/2021, o que demandou a reclassificação segundo os padrões vigentes. Para o CRL, foram considerados conformes os valores entre 0,2 e 5,0 mg/L; para a turbidez, os dados iguais ou inferiores a 5,0 uT; e, para a cor aparente, os resultados iguais ou inferiores a 15,0 uH. Os registros que não atenderam a esses critérios foram classificados como fora do padrão.

A análise estatística descritiva dos dados físico-químicos foi executada por parâmetro. Para cada variável foram calculados a média, os valores mínimo e máximo e o número de amostras. Paralelamente, foi elaborada uma tabela de conformidade para todos os parâmetros, contendo a contagem de registros classificados como dentro e fora do padrão, bem como os respectivos percentuais em relação ao total de amostras analisadas. Os produtos gerados foram salvos em arquivos no formato .rds e exportados para planilhas Excel, compondo a base analítica utilizada na avaliação das fragilidades do nos SAAs e SAC, além de subsidiar a elaboração de tabelas e gráficos para apresentação e interpretação dos resultados.

b). *Dados microbiológicos*

Os dados microbiológicos analisados e disponíveis no Sisagua corresponderam aos registros de presença ou ausência de coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*), classificados no sistema como parâmetros microbiológicos básicos e de rotina. Assim como realizado para os resultados físico-químicos, a classificação da conformidade foi padronizada

com o objetivo de uniformizar as nomenclaturas presentes no banco de dados e possibilitar a comparação entre os registros. Para ambos os parâmetros, foram considerados conformes os resultados com ausência dos microrganismos e não conformes aqueles com presença.

A análise descritiva ocorreu por parâmetro microbiológico monitorado entre 2021 e 2023. Para cada variável foram contabilizados o número total de amostras analisadas, a frequência de resultados com presença e ausência dos microrganismos indicadores, bem como os respectivos percentuais em relação ao total de registros válidos. Foi elaborada uma tabela de conformidade dos parâmetros, contendo a contagem de registros classificados como dentro e fora do padrão, de acordo com a portaria de potabilidade. A análise foi consolidada e salva em arquivos no formato .rds, sendo posteriormente exportados para planilhas Excel para produção de gráficos e tabelas na interpretação dos resultados.

4.1.2.3 Identificação das fragilidades

Nesta fase foi executada uma análise integrada dos resultados de monitoramento registrados no Sisagua, das informações levantadas nos PSAs dos SAAs e SAC do Ceará, das observações obtidas nas visitas técnicas e de estudos desenvolvidos na mesma área de investigação. O objetivo foi reconhecer limitações associadas tanto à execução e ao registro do monitoramento quanto ao controle da qualidade da água distribuída nas comunidades rurais.

Foram consideradas como fragilidades de monitoramento a irregularidade na frequência ou a ausência de registros para determinados parâmetros, bem como a descontinuidade temporal das análises, por comprometerem a avaliação do desempenho do tratamento da água nas áreas rurais. Também foram consideradas as fragilidades relacionadas à conformidade da água distribuída, identificadas a partir da recorrência de resultados fora do padrão de potabilidade para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados.

A interpretação das fragilidades foi realizada de forma contextualizada, relacionando os resultados do Sisagua às características estruturais e operacionais levantadas na etapa de caracterização da área de estudo. Destaca-se que, para os sistemas ou soluções de abastecimento sem registros no Sisagua, a análise foi complementada com base nos resultados das análises laboratoriais produzidas no âmbito do PSA desenvolvido por meio do TED nº 006/2021.

4.2 Priorização dos parâmetros da qualidade da água

Nesta etapa foi utilizado o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que oferece uma abordagem estruturada e sistemática que auxilia a solucionar a complexidade e diversidade das

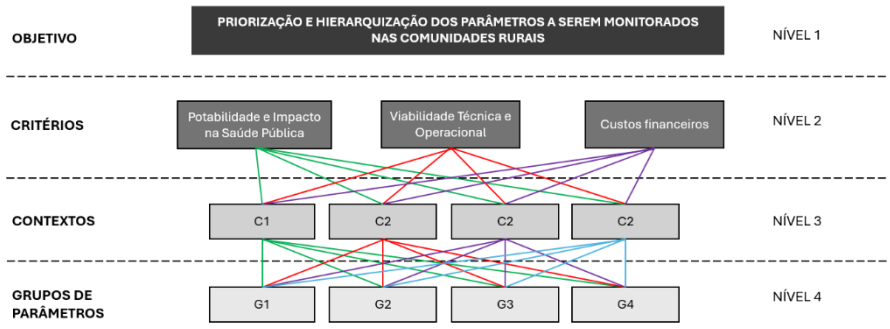
tomadas de decisões, de forma racional e intuitiva. Este método consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização desses, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (Saaty, 1990).

É um método bastante utilizado no desenvolvimento de estudos com tomadas de decisões relacionadas aos serviços de saneamento básico. Após consulta a estes estudos, decidiu-se por adotar a AHP como uma das ferramentas para obtenção do modelo conceitual proposto, sendo utilizado na priorização dos parâmetros de qualidade, a partir das seguintes etapas: estruturação do problema, definição de critérios, construção dos contextos, grupo de parâmetros, elaboração de questionário, julgamento comparativo e consistência lógica (Raid, 2017; Cordão, 2021; Sousa, 2023).

4.2.1.1 *Estruturação do problema*

Para definir a prioridade entre os parâmetros de qualidade da água, obtidos a partir das etapas anteriores, é necessário estruturar o problema em níveis hierárquicos simplificados. Neste trabalho foram considerados quatro níveis: a). objetivo da decisão a ser tomada; b). os critérios que serão utilizados para análise das prioridades; c). contextos de estudo; d). grupos de parâmetros a serem priorizados (Figura 22).

Figura 22 – Níveis hierárquicos



Fonte: Adaptado de Saaty (1990) e Raid et. al (2022).

4.2.1.2 *Definição de critérios*

Os critérios adotados são importantes para o processo de julgamento dos especialistas e na tomada de decisão. Para este estudo foram considerados critérios, ou indicadores, abordados pela literatura sobre vigilância e controle da qualidade da água em comunidades rurais. Também foram considerados os principais desafios que os prestadores do serviço têm para manter o

monitoramento e atender a portaria de potabilidade. Foram definidos três critérios: potabilidade e impacto na saúde pública, viabilidade técnica e operacional e custos financeiros.

a) Potabilidade e Impacto na saúde pública

Avalia o grau de importância do parâmetro em relação à sua influência direta na saúde humana e na garantia da potabilidade da água. Este critério considera o potencial do parâmetro causar efeitos adversos à saúde quando presente em valores inadequados, bem como sua relevância dentro dos padrões legais de qualidade da água para consumo humano.

b) Viabilidade Técnica e Operacional

Considera a facilidade ou dificuldade de realizar o monitoramento do parâmetro nas condições atuais dos sistemas e soluções de abastecimento de água rurais. Envolve a disponibilidade de equipamentos, reagentes e métodos analíticos acessíveis, a necessidade (ou não) de infraestrutura laboratorial, a capacitação da equipe local, o tempo de análise e a complexidade dos procedimentos envolvidos na coleta, transporte e interpretação dos resultados.

c) Custos financeiros

Refere-se aos custos associados ao monitoramento regular de cada parâmetro, considerando desde a aquisição de reagentes e equipamentos até a manutenção, transporte de amostras, análise laboratorial e eventual contratação de serviços especializados. Este critério leva em conta a sustentabilidade econômica da implementação do controle da qualidade da água em comunidades rurais, muitas vezes com orçamento limitado e infraestrutura restrita.

4.2.1.3 *Construção dos contextos*

Os contextos da priorização foram construídos a partir da combinação de duas variáveis estruturantes para SAA/SAC: o tipo de manancial utilizado para captação da água e a modalidade de abastecimento adotada.

a) Tipo de manancial

Definição do tipo de manancial que poderia abastecer a comunidade rural, se superficial ou subterrâneo. Esta informação influencia na definição dos parâmetros a serem monitorados, de acordo com as Resoluções Conama nº 357/2005, nº 396/2008 e nº 430/2011;

b) Modalidade de abastecimento

Distinção da modalidade de abastecimento passível de adoção na comunidade, classificando-a como sistema de abastecimento de água (SAA) ou solução alternativa coletiva (SAC).

No Quadro 3 têm-se os quatro contextos (C1, C2, C3 e C4) elaborados para priorização dos parâmetros.

Quadro 3 - Exemplos de contextos a serem elaborados

Fatores	Contexto 1 (C1)	Contexto 2 (C2)	Contexto 3 (C3)	Contexto 4 (C4)
Modalidade de abastecimento	SAA	SAC	SAA	SAC
Tipo de manancial	Superficial	Superficial	Subterrâneo	Subterrâneo

Fonte: Própria autora (2024).

Embora a área de estudo não contemplasse abastecidas por SAC e mananciais superficiais (Contexto 2), esse contexto foi mantido na estrutura da AHP por representar uma configuração existente em outras regiões do país e por ampliar o escopo de aplicação do modelo conceitual proposto. Dessa forma, buscou-se desenvolver uma ferramenta de apoio à decisão aplicável a diferentes realidades de abastecimento rural, não se restringindo exclusivamente às condições observadas nas comunidades do Ceará.

4.2.1.4 *Grupos de parâmetros*

Os parâmetros de qualidade da água passíveis de compor os planos de monitoramento foram organizados em quatro grupos (G1, G2, G3 e G4). Essa classificação foi elaborada a partir da análise da portaria de potabilidade, das resoluções do Conama aplicáveis à qualidade da água bruta de mananciais superficiais e subterrâneos, da literatura técnica e da experiência acumulada na etapa de caracterização da área de estudo.

A classificação proposta teve como referência a metodologia desenvolvida pela Funasa e pela Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (Assemae), a qual estabelece níveis de complexidade laboratorial para controle da qualidade da água para consumo humano em serviços municipais de saneamento (Bastos; Oliveira; Nascimento, 2007). Entretanto, a distribuição dos parâmetros entre os grupos foi adaptada no presente estudo, com a realocação de parâmetros entre os níveis originalmente propostos, de acordo com os critérios adotados e as particularidades do contexto de abastecimento rural.

Para sua definição, consideraram-se, principalmente, a frequência de monitoramento exigida ou recomendada, a relevância do parâmetro para a detecção de falhas no tratamento e de riscos à saúde, a viabilidade técnico-operacional de sua incorporação à rotina de monitoramento e a complexidade analítica envolvida em sua determinação.

a) Grupo 1: Monitoramento de rotina - Baixa complexidade laboratorial

Parâmetros considerados indicadores sentinelas da qualidade da água, ou seja, aqueles que fornecem sinais rápidos e confiáveis sobre possíveis falhas no sistema de tratamento e riscos à saúde. São exigidos com maior frequência de monitoramento pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (diária, semanal ou mensal) e, por sua relevância, costumam estar presentes no controle de rotina mesmo em sistemas simplificados de áreas rurais. São operacionalmente viáveis e fundamentais para a vigilância contínua da potabilidade da água. Também estão classificados como parâmetros básicos e de rotina no Sisagua.

Parâmetros: cloro residual livre, cor aparente, turbidez, pH, *E. coli* e coliformes totais, entre outros.

b) Grupo 2: Monitoramento periódico – Média complexidade laboratorial I

Parâmetros que requerem monitoramento em menor frequência (trimestral, semestral ou anual) ou em condições específicas, como variações do manancial, intervenções no sistema ou suspeitas de contaminação. São importantes para complementar o diagnóstico da qualidade da água e avaliar sua estabilidade ao longo do tempo. Apresentam viabilidade técnica moderada, sendo geralmente mais acessíveis do que os parâmetros de investigação, mas ainda exigem alguma estrutura para coleta e análise.

Parâmetros: condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais (SDT), dureza total, ferro, manganês e cloretos, entre outros.

c) Grupo 3: Monitoramento de Investigação ou Ampliado – Média complexidade laboratorial II

Parâmetros que exigem monitoramento mais especializado, geralmente aplicados em investigações pontuais, estudos aprofundados ou em resposta a riscos ambientais específicos. São recomendados em situações que envolvem contaminações químicas, degradação do manancial, proximidade com atividades agrícolas ou industriais, ou ainda para atendimento de exigências regulatórias complementares. Possuem maior complexidade analítica, demandando

infraestrutura laboratorial mais robusta, capacitação técnica específica e maiores custos operacionais. Por esses motivos, são menos acessíveis a sistemas de abastecimento de pequeno porte em áreas rurais, sendo priorizados apenas conforme o contexto.
Parâmetros: nitrato, nitrito, DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio) e fósforo total, entre outros.

d) Grupo 4: Análises de Parâmetros Especiais – Alta complexidade laboratorial

Parâmetros que demandam técnicas analíticas avançadas, frequentemente exigidas por regulamentações específicas ou em situações excepcionais, como em áreas com histórico de contaminação por radioatividade, metais pesados ou compostos industriais. Esses parâmetros geralmente exigem laboratórios altamente especializados, sendo indicados para investigações detalhadas ou ações de vigilância sanitária e ambiental em contextos de alto risco.
Parâmetros: urânio, arsênio, mercúrio, pesticidas e agrotóxicos, poluentes emergentes (medicamentos e hormônios), entre outros.

4.2.1.5 *Julgamentos comparativos*

Os critérios e parâmetros foram comparados par a par através da atribuição de valores que refletem a importância, em escala de 1 a 9, como estabelecido por Saaty (1990) e descritos no Quadro 4. Observa-se que os números ímpares são utilizados para um julgamento mais assertivo e os pares para julgamentos intermediários.

Quadro 4 - Escala para julgamentos

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância fraca de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu predomínio de importância é demonstrado na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

O julgamento a partir da atribuição de importância ocorre por meio da aplicação de questionários eletrônicos com especialistas, conforme descrito adiante. Os julgamentos obtidos são dispostos em uma matriz genérica A (Equação 1), formada a partir de um número de julgamentos igual a n*(n-1)/2, sendo n o número de elementos da matriz.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde:

$a_{ij} > 0 \rightarrow$ positiva;

$a_{ij} = 1 \rightarrow a_{ji} = 1$;

$a_{ij} = 1/a_{ji} \rightarrow$ recíproca;

$a_{ik} = a_{ij} * a_{jk} \rightarrow$ consistência.

4.2.1.6 *Consistência lógica*

É necessário verificar a existência de desvio entre as comparações dos especialistas, a fim de validar os julgamentos e evitar resultados pouco confiáveis. Para verificar a consistência da matriz é calculado o índice de consistência (IC), obtido a partir da Equação 2, proposta por Saaty (1990).

$$IC = \frac{|\lambda_{máx} - N|}{N - 1} \quad (2)$$

Onde:

$\lambda_{máx}$ = autovalor máximo;

N = ordem da matriz.

Para reduzir a subjetividade do método aplicado, é calculada a razão de consistência, aplicando-se o índice de consistência (IC) e o índice de consistência randômico (IR) da Equação 3, também proposta por Saaty (1990). O IR será dado pela ordem da matriz, como mostra a Tabela 4.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Tabela 4 - Índice de consistência randômico médio de acordo com a ordem da matriz

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

A matriz de importância é considerada consistente quando a RC ≤ 0,10, conforme recomendação usual para matrizes de comparação par a par. Entretanto, em aplicações nas quais a avaliação dos muitos itens é particularmente complexa, podem ser admitidos limites mais elevados, como RC ≤ 0,20 ou RC ≤ 0,30 (Fogliatto, 2003; Tinoco e Ribeiro, 2011).

4.2.1.7 *Questionário*

O questionário aplicado para a execução do método AHP foi estruturado com o objetivo de coletar os julgamentos dos especialistas quanto à importância relativa dos três critérios de decisão e dos quatro grupos de parâmetros de qualidade da água definidos para os diferentes contextos de abastecimento. O documento foi previamente submetido à apreciação e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Campina Grande (CAAE n° 89338125.5.0000.5182), encontrando-se apresentado no Apêndice B.

O questionário foi disponibilizado em formulário eletrônico e precedido pelo Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), e incluiu um bloco inicial para registro de informações do participante, como instituição e área de atuação. O link de acesso foi encaminhado a um grupo de especialistas na temática do saneamento rural, abrangendo pesquisadores e profissionais da área.

O formulário foi organizado em duas etapas principais. Na primeira, os especialistas realizaram a comparação par a par entre os critérios “Potabilidade e impacto na saúde pública”, “Viabilidade técnica e operacional” e “Custos financeiros”, com base na escala fundamental proposta por Saaty (1990), conforme apresentado na Tabela 5, obtendo-se uma matriz de ordem 3.

Tabela 5 – Comparação dos critérios

	Potabilidade e impacto na saúde pública	Viabilidade técnica e operacional	Custos financeiros
Potabilidade e impacto na saúde pública	1		
Viabilidade técnica e operacional		1	
Custos financeiros			1

Fonte: Própria autora (2026).

Na segunda etapa, os especialistas avaliaram, também por meio de comparações par a par, a importância relativa entre os quatro grupos de parâmetros de monitoramento G1, G2, G3 e G4, resultando em uma matriz de ordem 4, considerando separadamente cada um dos contextos C1, C2, C3 e C4 e cada um dos critérios adotados, como o exemplo da Tabela 6.

Tabela 6 – Modelo comparação de parâmetros para cada critério nos contextos

	G1	G2	G3	G4
G1	1			
G2		1		
G3			1	
G4				1

Fonte: Própria autora (2026).

Com o objetivo de padronizar o processo de julgamento e reduzir ambiguidades, o questionário apresentou previamente aos participantes a descrição conceitual dos critérios, a caracterização dos grupos de parâmetros e a definição dos contextos de aplicação. Também foram incluídas orientações sobre a leitura das comparações entre pares e sobre o uso da escala de importância relativa de 1 a 9, além de um campo final destinado a comentários adicionais, permitindo o registro de observações, justificativas e sugestões dos especialistas.

4.3 Análise técnica e econômico-financeira para monitoramento da qualidade da água

Após a priorização dos parâmetros de qualidade da água, procedeu-se à etapa de análise técnica e econômico-financeira do modelo conceitual, com o objetivo de verificar a viabilidade de implementação das propostas de monitoramento nos contextos rurais estudados. Para isso, essa etapa foi estruturada em duas etapas complementares: a elaboração dos planos de monitoramento, com definição dos parâmetros, pontos e frequências de amostragem para cada contexto de abastecimento, e a avaliação dos custos e da sustentabilidade econômico-financeira associados à sua execução.

4.3.1 Elaboração dos planos de monitoramento

A definição dos planos de monitoramento foi necessária para subsidiar, posteriormente, a análise dos custos e da sustentabilidade econômico-financeira dos prestadores de serviço frente à necessidade de atendimento às diretrizes da portaria de potabilidade e aos demais normativos. Os planos contemplaram a definição dos parâmetros a serem monitorados, dos pontos de coleta e da frequência das análises, sendo estruturados a partir da integração entre os

resultados da priorização dos grupos de parâmetros obtidos pelo método AHP, os requisitos estabelecidos nos normativos de potabilidade e de qualidade da água bruta dos mananciais e as fragilidades previamente identificadas no SAA/SAC. No Quadro 5 observa-se as diretrizes adotadas para a elaboração dos planos de monitoramento propostos.

Quadro 5 – Diretrizes adotadas para elaboração do plano de monitoramento

Elemento	Diretrizes
Parâmetros	Selecionados com base nos grupos priorizados pelo AHP (G1, G2, G3 e G4), nos normativos de potabilidade e qualidade da água bruta e nas fragilidades identificadas em cada contexto.
Pontos de coleta	Definidos a partir da metodologia do PSA para áreas rurais, das características operacionais e das diretrizes da portaria, contemplando captação, saída do tratamento, reservação, ponta de rede na distribuição e, quando pertinente, escolas, creches e pontos de apoio à saúde.
Frequência	Estabelecida para um horizonte de um ano, com possibilidade de revisão conforme os riscos identificados. Também foram consideradas a indicações da portaria de potabilidade.

Fonte: Própria autora (2026).

No que diz respeito aos pontos de monitoramento, foram incluídos, sempre que aplicáveis, pontos na captação, na saída do tratamento, na reservação e na rede de distribuição, com ênfase para a extremidade mais distante da rede, representativa das condições mais críticas para os parâmetros sentinelas (CRL, turbidez, cor aparente, *E. coli* e CT). Adicionalmente, foram incorporados pontos estratégicos localizados em escolas, creches e unidades de apoio à saúde existentes nas comunidades rurais, por atenderem populações potencialmente mais vulneráveis e por constituírem locais relevantes para o acompanhamento da potabilidade da água, em consonância com o disposto no Art. 44, § 1º, inciso II, itens 2 e 3, da Portaria GM/MS nº 888/2021.

Os planos foram dimensionados para um horizonte de um ano, em consonância com o disposto no Art. 44, § 1º, inciso I, da Portaria GM/MS nº 888/2021, e com as frequências de monitoramento indicadas nos PSAs, considerando a possibilidade de revisão desses instrumentos ao longo desse período e a necessidade de flexibilização das análises conforme a identificação dos perigos e avaliação de riscos. De modo geral, adotou-se frequência semestral para as análises realizadas na captação, frequência semanal para os parâmetros de rotina na saída do tratamento e nos demais pontos de monitoramento da água distribuída, e frequência

mensal para parâmetros específicos de interesse, especialmente aqueles associados a processos de contaminação.

4.3.2 Custos e sustentabilidade financeira do monitoramento da qualidade da água

A avaliação dos custos e da sustentabilidade econômico-financeira dos planos de monitoramento propostos teve como objetivo verificar a viabilidade de implementação das ações indicadas nos sistemas e soluções das comunidades rurais do Ceará. O Quadro 6 contém os componentes da análise, as descrições e critérios e as fontes das informações utilizadas nesta etapa.

Quadro 6 – Informações utilizadas para análise do custo e sustentabilidade financeira

Componente da análise	Descrição / critério adotado	Fonte
Nº de ligações ativas	Quantidade de ligações ativas atendidas por cada sistema.	Prestadores de serviço
Distância da sede do prestador	Distância utilizada como aproximação da rota de deslocamento para coleta e transporte das amostras até o local de análise.	Calculado
Total de pontos de monitoramento	Número de pontos previstos no plano de monitoramento de cada SAA/SAC.	Plano de monitoramento
Total de parâmetros	Quantidade de parâmetros incluídos no plano de monitoramento.	Plano de monitoramento
Tarifa de consumo até 10 m³	Valor mensal cobrado pelo fornecimento de água correspondente ao consumo de até 10 m³	Prestador de serviço
Taxa para o operador	Valor mensal destinada à remuneração dos operadores	Prestador de serviço
Taxa administrativa	Valor mensal destinado ao custeio das atividades administrativas do prestador de serviço.	Prestador de serviço
Tarifa total	Valor mensal correspondente à soma da tarifa de consumo de água, da taxa do operador e da taxa administrativa.	Prestador de serviço
Custo anual de mobilização	Estimado a partir da frequência de coleta prevista no plano e dos custos unitários de deslocamento/coleta, conforme a distância entre a comunidade e a sede do prestador.	Tabela de Insumos e serviços da Embasa (2025).
Custo anual das análises	Obtido a partir do número de parâmetros, análises previstas no plano, frequência e dos valores unitários por parâmetro.	Tabela de Insumos e serviços da Embasa (2025).
Custo total anual do monitoramento	Soma do custo anual de mobilização e do custo anual das análises.	Calculado
Custo por ligação ativa mensal	Razão entre o custo total anual do monitoramento e o número de ligações ativas, dividido por 12 meses.	Calculado

Quadro 6 - Informações utilizadas para análise do custo e sustentabilidade financeira (continuação)

Componente da análise	Descrição / critério adotado	Fonte
Tarifa com adicional de monitoramento	Valor da tarifa de consumo acrescido do custo mensal do monitoramento por ligação ativa.	
Comprometimento da tarifa atual	Relação entre o custo mensal por ligação ativa e o valor da tarifa praticada, expressa em percentual.	Calculado
Receita anual disponível para o monitoramento	Receita anual estimada proveniente da tarifa de consumo de água, considerada na análise como a parcela disponível para custear as atividades de monitoramento da qualidade da água, desconsiderando as receitas destinadas à remuneração do operador e às despesas administrativas.	Calculado
Superávit ou déficit financeiro	Diferença entre a receita anual proveniente da tarifa de consumo e o custo anual do monitoramento. Valores positivos indicam superávit e valores negativos indicam déficit financeiro.	Calculado

Fonte: Própria autora (2026).

4.4 Estruturação do modelo conceitual final

A consolidação do modelo conceitual proposto foi a partir da integração dos resultados obtidos nas etapas anteriores da pesquisa, desde as entradas do modelo até a avaliação de sua viabilidade técnico-financeira. Consistiu em organizar, em um único fluxo lógico, os elementos necessários à definição de estratégias de monitoramento da qualidade da água nos diferentes contextos de abastecimento rural da área de estudo. O objetivo tornar o modelo uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para os diversos responsáveis envolvidos nas várias etapas do serviço de abastecimento e controle e vigilância da qualidade da água no meio rural.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação das fragilidades e desafios do serviço de abastecimento de água

A análise da cobertura dos registros de monitoramento no Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), no período de 2021 a 2023, evidenciou uma discrepância entre os volumes de dados provenientes das áreas urbanas e rurais nos municípios avaliados. Adicionalmente, foram constatadas diferenças na capacidade institucional, na priorização das ações de vigilância e na organização dos serviços entre os prestadores, sem manter uma avaliação contínua da segurança da qualidade da água, expondo a população aos riscos à saúde.

Na sequência são apresentados e discutidos os resultados da análise dos dados de monitoramento dos sistemas e soluções de abastecimento dos municípios e comunidades rurais contempladas neste estudo.

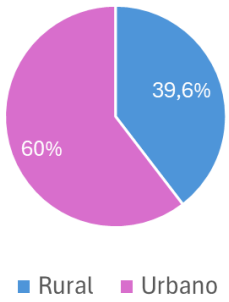
5.1.1 Aracati

De acordo com o SINISA (2024), 66,0% da população do município de Aracati/CE possui acesso ao abastecimento de água tratada, sendo que aproximadamente 37,0% dos habitantes residem em áreas rurais. Quanto aos serviços de esgotamento sanitário, cerca de 85,5% da população não possui coleta de esgoto e apenas 16,7% do esgoto gerado é submetido a tratamento. Em relação aos indicadores de saúde, foram registradas 94 internações por doenças de veiculação hídrica, incluindo um óbito.

O número de registros da qualidade da água do município totalizou 6.594 no Sisagua, cujos resultados da análise são verificados na Figura 23 e na Tabela 7. Desse total, 2.610 dados (39,6%) são provenientes de sistemas de distribuição, ligações domiciliares e soluções alternativas de abastecimento situadas em áreas rurais, com descontinuidade temporal. As informações contemplam monitoramento de cinco parâmetros, físico-químicos e microbiológicos, sendo eles cloro residual livre (CRL), turbidez, cor aparente, coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*).

Na análise do número de registros por parâmetros foi possível constatar um menor volume de dados para o CRL, com 438 resultados, sugerindo uma priorização do monitoramento microbiológico e de parâmetros organolépticos da água, em detrimento do acompanhamento do residual desinfetante, que é fundamental para garantir a segurança sanitária ao longo da rede de distribuição.

Figura 23 - Distribuição de registros de monitoramento urbanos e rurais em Aracati/CE



Fonte: Própria autora (2025).

Tabela 7 - Quantitativo e caracterização dos dados da área rural de Aracati/CE

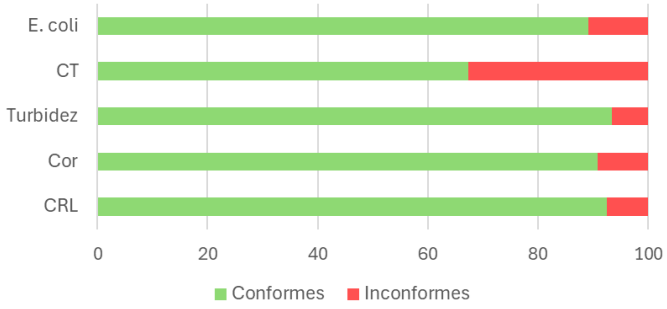
Parâmetros	Nº de registros	Período
Cloro residual livre	438	Fev/2021 a Dez/2021
Cor aparente	540	
Turbidez	545	
Coliformes totais	544	
E. coli	583	
Total de registros	2.610	

Fonte: Própria autora (2025).

Na Figura 24 tem-se o nível de conformidade dos dados de Aracati/CE, considerando as diretrizes de potabilidade estabelecidas na Portaria GM/MS nº 888/2021. O município teve elevados percentuais de atendimento aos valores máximos permitidos (VMP) para CRL, cor aparente e turbidez, todos superiores a 90,0%, evidenciando adequação do controle dos processos de tratamento e dos padrões de qualidade para esses parâmetros. No entanto, no âmbito microbiológico, embora os resultados para *E. coli* indiquem desempenho satisfatório, com 89,1% de conformidade, ocorre uma menor conformidade para CT, com apenas 67,3%. São resultados que reforçam os riscos de contaminação da água após tratamento e a necessidade de intensificar o monitoramento e a manutenção das concentrações do CRL.

As não conformidades identificadas no banco de dados do Sisagua incluem sistemas de distribuição com prestação de serviço tanto pelo Sisar BBJ quanto pela Cagece, os quais realizam tratamento da água para distribuição. Sendo assim, conclui-se que a ocorrência de contaminação não se restringe à etapa de captação, podendo estar associada a falhas nos processos de desinfecção, à integridade da rede de distribuição ou às condições de armazenamento da água.

Figura 24 - Conformidade dos parâmetros na área rural de Aracati/CE



Fonte: Própria autora (2025).

Ressalta-se que, do total de 116 localidades rurais identificadas pelo censo IBGE (2022), apenas 50 são atendidas pelo Sisar BBJ, por meio de 17 sistemas de abastecimento de água, o que já indica uma cobertura parcial da população dessas áreas (Ceará, 2021). Entre esses sistemas, apenas 11 possuem registros no Sisagua. Logo, mesmo entre as áreas rurais atendidas por arranjos estruturados, ainda há fragilidades no registro e na sistematização das informações sobre a qualidade da água no município, o que pode comprometer as ações de vigilância, controle e tomada de decisão no contexto do abastecimento rural.

5.1.1.1 SAA Lagoa dos Encantos

O banco de dados da qualidade da água do SAA Lagoa dos Encantos, composto por informações do Sisagua, contemplou 325 registros de monitoramento no período analisado, sendo 195 dos parâmetros físico-químicos e 130 dos microbiológicos, abrangendo CRL, turbidez, cor aparente, CT e *E. coli,* Tabela 8.

Tabela 8 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Lagoa dos Encantos

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	Nº de registros	VMP*	Conformidade (%)
CRL (mg/L)	0,84	0,06	2,89	65	0,2 – 5,0	80,0
Cor aparente (uH)	10,46	5,00	40,00	65	10,0	90,8
Turbidez (uT)	1,72	0,10	15,30	65	5,0	96,9
CT	-	-	-	65	Ausente em 100 ml	66,2
E. coli	-	-	-	65	Ausente em 100 ml	90,8

*VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).

Fonte: Própria autora (2025).

Os registros do sistema da Tabela 8 mostram que as amostras foram coletadas na rede de distribuição do SAA Lagoa dos Encantos entre março de 2021 e novembro de 2023. Importante destacar que, observou-se descontinuidade temporal na inserção dos dados no Sisagua para este sistema, com ausência de informações em alguns meses, o que compromete a avaliação sistemática da qualidade da água ao longo do ano, especialmente para parâmetros que, conforme a Portaria GM/MS nº 888/2021, deveriam ser monitorados com maior frequência, diária ou semanal.

O cloro residual livre (CRL) na Tabela 8 apresentou concentração média de 0,84 mg/L na rede de distribuição, permanecendo predominantemente em conformidade com os limites estabelecidos pela portaria de potabilidade, entre 0,2 mg/L e 5,0 mg/L, com 80,0% das amostras de acordo com o VMP. Entretanto, foram observados valores pontuais reduzidos, com concentração mínima de 0,06 mg/L, evidenciando dificuldades na manutenção do agente desinfetante ao longo do sistema de abastecimento, mesmo com equipamentos de reforço de cloro instalados em diversos pontos da rede.

Essa fragilidade também foi diagnosticada no PSA do SAA Lagoa dos Encantos, que indicou a ausência de CRL em extremidades da rede de distribuição (Funasa e UFCG, 2023). Sousa (2024) executou a avaliação de risco no mesmo sistema e classificou a ausência ou a baixa concentração do cloro residual como evento perigoso de alto risco para o SAA, especialmente associado às etapas de tratamento e distribuição.

Os resultados do CRL também corroboram com as conclusões de Batista (2024), que avaliou o comportamento do parâmetro em redes de distribuição de comunidades rurais do Ceará, incluindo o SAA Lagoa dos Encantos, por meio da modelagem do decaimento do agente desinfetante. A autora identificou que, especificamente na comunidade Lagoa da Cruz, uma das localidades abastecidas por esse sistema e distante da ETA, apresentou o pior desempenho entre os sistemas avaliados, com todas as amostras fora dos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Adicionalmente, a modelagem indicou baixa capacidade de recuperação do sistema após episódios de inconformidade deste parâmetro.

Em relação à cor aparente, ainda sobre os resultados da Tabela 8, observou-se valor médio de 10,46 uH, com variação entre 5,00 uH e 40,00 uH, sendo que 90,8% das amostras atenderam ao VMP da portaria de 15,0 uH. A turbidez apresentou média de 1,72 uT e valores mínimos de 0,10 uT e máximos de 15,30 uT, mantendo elevado percentual de conformidade, com 96,9% das análises dentro do limite normativo de 5,0 uT.

Os resultados de CT da Tabela 8 indicaram que 66,2% das amostras apresentaram conformidade com o padrão de potabilidade, caracterizado pela ausência desses microrganismos na água. Em relação à *E. coli*, observou-se desempenho superior do processo de tratamento, com 90,8% das amostras isentas de contaminação fecal. Considerando que, segundo os registros do Sisagua, as coletas foram realizadas na rede de distribuição, os dados sugerem que o tratamento convencional empregado na ETA Lagoa dos Encantos foi eficaz na remoção de *E. coli*. Contudo, a maior ocorrência de CT aponta para possível recontaminação ao longo da rede, associada à entrada de microrganismos devido a falhas operacionais no sistema, quebras frequentes de tubulações e a existência de pontas de rede não protegidas, fragilidades diagnosticadas nas visitas técnicas ao SAA.

Em proposta de Plano de Segurança da Água (PSA) para comunidades rurais, elaborada por Steffler, Soares e Medeiros (2025), foram identificadas diversas ocorrências de danos à tubulação da rede de distribuição, atribuídas à intensa circulação de maquinário agrícola nas estradas da área de estudo. Esses eventos resultaram na presença de coliformes totais (CT) na rede e nos pontos de consumo, mesmo após o processo de cloração. A contaminação da água decorrente de rompimentos de tubulação é classificada como evento perigoso de alto risco por Sousa (2024) e Naseri et al. (2022), representando ameaça potencial à saúde da população abastecida, sobretudo quando associada a episódios de ausência ou baixa concentração de CRL, que reduzem a proteção microbiológica da água.

As fragilidades operacionais do SAA Lagoa dos Encantos, marcadas pelo decaimento do agente desinfetante e recontaminações, sinalizam a vulnerabilidade do abastecimento executado por meio de redes de distribuição extensas e que atendem comunidades dispersas. Os achados da análise de dados do Sisagua reforçam a necessidade de implementação de um modelo de monitoramento da qualidade da água que seja ajustado às especificidades para as especificidades para esse tipo de sistema.

5.1.1.2 SAA Lagoa do Juá

O SAA Lagoa do Juá dispõe de apenas 35 resultados de monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos registrados no Sisagua, também com descontinuidade temporal no período adotado para a análise. As amostras de qualidade da água foram coletadas na rede de distribuição nos meses de março e outubro de 2021 e maio e outubro de 2022, ou seja, houve a inserção de dados de apenas duas campanhas de monitoramento por ano. Não foram identificados registros para o ano de 2023 (Tabela 9).

Tabela 9 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Lagoa do Juá

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	Nº de registros	VMP*	Conformidade (%)
CRL (mg/L)	0,50	0,14	1,98	7	0,2 – 5,0	71,4
Cor aparente (uH)	35,70	5,00	70,00	7	10,0	28,6
Turbidez (uT)	6,60	0,80	15,40	7	5,0	28,6
CT	-	-	-	7	Ausente em 100 ml	57,1
E. coli	-	-	-	7	Ausente em 100 ml	100,0

*VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).

Fonte: Própria autora (2025).

A concentração média do CRL no sistema de distribuição foi de 0,50 mg/L, com valores variando entre 0,14 mg/L e 1,98 mg/L, na Tabela 9. Do total de amostras analisadas, 71,4% apresentaram conformidade com a portaria de potabilidade. Nas análises do PSA do SAA Lagoa do Juá não foram identificadas inconformidades associadas ao CRL. A modelagem do decaimento do cloro executada por Batista (2024) indicou baixa vulnerabilidade da rede de distribuição para falhas desse parâmetro, bem como elevada resiliência na manutenção do residual de desinfetante. Esses resultados indicam que o prestador de serviço Sisar BBJ adota estratégias para o atendimento ao padrão de potabilidade do CRL, embora ainda sejam observadas ocorrências pontuais de inconformidades nos registros do Sisagua.

A cor aparente e a turbidez, Tabela 9, apresentaram valores elevados de não conformidades nas análises do Sisagua. A cor aparente apresentou média de 35,70 uH, com variação entre 5,00 uH e 70,00 uH, resultando em apenas 28,6% das amostras conforme padrão estabelecido. A turbidez exibiu comportamento semelhante, com média de 6,60 uT, valores entre 0,80 uT e 15,4 uT e igual percentual de conformidades, indicando a ocorrência simultânea de elevação desses parâmetros nas amostras. O diagnóstico do PSA confirmou a persistência de valores elevados desses parâmetros, mesmo após o tratamento da água bruta do Canal do Trabalhador. Foram registrados valores de até 161,0 uH e 14,5 uT na saída da ETA e de 203,0 uH e 18,5 uT na ponta da rede, apontando limitações dos processos de tratamento, principalmente a etapa de filtração, e as possível interferências e contaminações na rede de distribuição (Funasa e UFCG, 2023).

A ocorrência de valores elevados de cor aparente e turbidez constitui uma preocupação para a qualidade da água destinada ao consumo humano, uma vez que esses parâmetros podem indicar a presença de matéria orgânica, partículas e outros materiais na água, além de evidenciar limitações nas etapas de tratamento (Funasa e UFCG, 2023). A turbidez, em particular, é considerada um importante indicador da eficiência do tratamento, especialmente da filtração,

sendo seu monitoramento utilizado como referência para avaliar a remoção de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*. Embora não exista uma relação direta que permita estabelecer, exclusivamente a partir da turbidez, a eficiência de remoção desses protozoários, valores reduzidos após a filtração são recomendados como medida de segurança da água (WHO, 2011; Oliveira, 2015). Nesse sentido, valores elevados de cor aparente e turbidez podem sinalizar falhas nas etapas de filtração e desinfecção e, consequentemente, representar riscos sanitários à população abastecida (Funasa, 2014; Souza et al., 2015).

Os CT com conformidade em apenas 57,1% das amostras, e, assim como o SAA Lagoa dos Encantos, uma possível recontaminação da água na rede de distribuição e com riscos à saúde da população abastecida. Em contraste, todas as amostras analisadas para *E.coli* estiveram em conformidade com o padrão vigente, não sendo identificados registros de contaminação fecal na água tratada.

Os resultados do SAA Lagoa do Juá indicam que as situações de degradação da qualidade da água estão relacionadas, principalmente, à insuficiência do tratamento frente às características da água bruta do manancial superficial, além da possibilidade adicional de nova contaminação na distribuição. Nesse contexto, o uso do banco de dados para a construção de um plano de monitoramento, contemplando a água bruta, a saída do tratamento e a rede de distribuição, tornam-se fundamentais para subsidiar a tomada de decisão do prestador de serviço, orientar ajustes no tratamento e prevenir riscos à saúde da população.

Importante destacar que, quanto a disponibilidade de dados para o SAA no Sisagua, o monitoramento restrito a poucos pontos e a descontinuidade temporal não permite identificar, de forma contínua, falhas operacionais do sistema. A avaliação da qualidade da água com base em poucas amostras pode induzir o prestador do serviço a subestimar os riscos à saúde pública (Steffler; Soares; Medeiros, 2025).

5.1.1.3 SAA Venâncio

Para o SAA Venâncio foram identificados 100 resultados no Sisagua, referentes a coletas de amostras no sistema de distribuição, Tabela 10. Os dados encontrados, também sem manter a constância no período analisado, são dos meses de maio de 2021, novembro de 2022 e fevereiro, junho e outubro de 2023.

Tabela 10 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Venâncio

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	Nº de registros	VMP*	Conformidade (%)
CRL (mg/L)	0,57	0,26	1,20	20	0,2 – 5,0	100
Cor aparente (uH)	5,00	5,00	5,00	20	10,0	100
Turbidez (uT)	0,50	0,10	1,30	20	5,0	100
CT	-	-	-	20	Ausente em 100 ml	70,0
E. coli	-	-	-	20	Ausente em 100 ml	95,0

*VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).

Fonte: Própria autora (2025).

O CRL teve concentração média de 0,57 mg/L na rede de distribuição, com valores variando entre 0,26 mg/L e 1,20 mg/L, respeitando o VMP para potabilidade. Ainda na Tabela 10, cor aparente manteve um valor constante de 5,00 uH em todos os resultados e a turbidez apresentou média de 0,50 uT, com valores mínimos e máximos de 0,10 uT e 1,30 uT, respectivamente, ambos também conformes a portaria. Quanto aos parâmetros microbiológicos, os CT estiveram em conformidade em 70,0% das amostras. Para *E. coli*, 95,0% das amostras atenderam ao padrão. Em mais um sistema do Sisar BBJ há indícios de contaminação da água na rede de distribuição devido a taxa de conformidade do CT menor do que *E. coli*.

Na consulta ao PSA do SAA Venâncio constatou-se inconformidades na ponta de rede do sistema, com uma redução do CRL e a presença de CT e *E. Coli* (Funasa e UFCG, 2023). Batista (2024) classificou o sistema da comunidade Venâncio como de boa performance, em função da baixa taxa de amostras não conformes, da reduzida magnitude de descumprimentos aos limites da Portaria GM/MS nº 888/2021 e da elevada capacidade de recuperação do sistema após episódios pontuais de deficiência do CRL, demonstrando resiliência da rede de distribuição quanto a falhas.

Quanto a água bruta do poço que abastece o SAA, o PSA diagnosticou altas concentrações de cloretos, de até 585,75 mg/L, acima do VMP de 250,00 mg/L recomendado pela portaria de potabilidade e atribuindo sabor salgado à água. Por esse motivo, moradores da comunidade preferem utilizar água da cisterna para beber e preparar alimentos (Funasa e UFCG, 2023). De acordo com Matta (2002), cloreto acima de 250,00 mg/L provoca um sabor desagradável na água, corrosões em estruturas de metal, incrustações em tubos de revestimentos, aumento da dureza das águas e ações negativas no metabolismo de organismos.

O Plano de Segurança da Água identificou, também, concentrações elevadas de nitrato no manancial subterrâneo, com valor de até 44,60 mg/L, superior ao VMP de 10,00 mg/L estabelecido pela portaria (Funasa e UFCG, 2023). As concentrações observadas de nitrato

podem estar associadas às características de uso e ocupação do solo identificadas na comunidade, especialmente à predominância de atividades agrícolas e ao uso relatado de fertilizantes e agrotóxicos. Sendo assim, concentrações superiores ao VMP constituem uma preocupação para a saúde da população abastecida, reforçando a necessidade de controle das fontes potenciais de contaminação, do manejo adequado de fertilizantes e agrotóxicos utilizados nas atividades agrícolas e do acompanhamento da qualidade da água.

Oliveira (2024) e Sheffler et. al (2022) também constataram a presença de nitrato em níveis elevados na água dos poços utilizados para abastecimento em áreas rurais, relacionando a ocorrência da contaminação ao uso e ocupação do solo, principalmente pelo uso de fertilizantes e agrotóxicos nas atividades agropecuárias, à presença de excrementos animais, a falta de saneamento básico e disposição inadequada de resíduos sólidos em áreas rurais.

O nitrato não é removido pelo tratamento simplificado adotado do SAA Venâncio e nem monitorado pela equipe técnica do Sisar BBJ, devido a viabilidade técnica e financeira para realização das análises, representando risco potencial à saúde da população. O consumo da água com elevadas concentrações de nitrato provoca a deficiência da hemoglobina no sangue em crianças, podendo ser fatal. Além disso, está associado ao desenvolvimento de câncer linfático e gástrico em adultos (Brasil, 2014; Funasa e UFCG, 2023; Oliveira, 2024).

Os resultados da análise indicam que a principal fragilidade do SAA Venâncio está associada à presença de nitrato na água bruta do manancial subterrâneo, composto que pode estar associado aos usos de agrotóxicos e não é removido pelo atual processo de tratamento simplificado. Adicionalmente, não foi identificado monitoramento sistemático desse parâmetro por parte do prestador de serviço ou dos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos na área de estudo. As atividades de agricultura e aquicultura presentes no território da comunidade constituem potenciais fontes de contaminação do aquífero subterrâneo, reforçando a necessidade de acompanhamento contínuo da qualidade da água bruta. A ausência de monitoramento regular desses contaminantes dificulta a identificação precoce de riscos à saúde da população e limita a adoção de medidas preventivas de controle.

É necessária a implementação de estratégias de monitoramento adaptadas às características da área, contemplando a avaliação periódica da qualidade da água bruta e dos potenciais impactos decorrentes das atividades antrópicas desenvolvidas. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de maior atenção às atividades agrícolas e às demais formas de uso e ocupação do solo, que podem contribuir para a contaminação dos mananciais, comprometer a qualidade da água e representar riscos à saúde da população abastecida. Essas ações devem ser

baseadas na avaliação de risco e conduzidas de forma integrada entre os prestadores de serviço, os órgãos gestores e os demais atores envolvidos na proteção dos recursos hídricos.

5.1.1.4 SAC Cantinho

Na comunidade rural Cantinho a situação do abastecimento de água apresenta um grau de vulnerabilidade superior ao observado em comunidades com sistemas de abastecimento formalizados, uma vez que o atendimento ocorre por meio de soluções alternativas coletivas, constituídas por chafarizes sem tratamento e que são de responsabilidade da prefeitura municipal de Aracati/CE. Ademais, há um dessalinizador comunitário instalado pela SOHIDRA que deveria ter a etapa da desinfecção, mas sem monitoramento da sua eficiência ou manutenção. A população também faz a compra de água captada em poços de comunidades vizinhas. Para Maroneze et al. (2014), a precarização ou inexistência dos serviços de abastecimento de água no meio rural faz com que a população frequentemente recorra a outras fontes de água os quais nem sempre se encontram dentro dos padrões de potabilidade adequados.

Não foram identificados no Sisagua registros de monitoramento da qualidade da água dos SACs Cantinho dentro do período analisado, nem a existência de plano ou dados de controle apresentados pelos prestadores de serviço. Sendo assim, optou-se pela utilização dos dados e informações obtidos durante a elaboração do PSA dessas soluções e visitas de campo, conforme previsto na metodologia.

Os moradores da comunidade confirmaram que consomem a água dos chafarizes sem qualquer tipo de desinfecção, e que não há ações da prefeitura municipal ou qualquer outro órgão na segurança da qualidade da água. A ausência de informações e de acompanhamento sistemático caracteriza descumprimento das diretrizes da Portaria GM/MS nº 888/2021 e do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), que estabelecem o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano independentemente do tipo de solução de abastecimento.

A ausência de desinfecção nos chafarizes, associada à falta de manutenção dos reservatórios, favorece a formação de biofilmes e compromete a qualidade microbiológica da água nessas estruturas. Essa condição é agravada pela presença de potenciais fontes de contaminação, como a proximidade de animais às áreas de captação e a precariedade dos serviços de saneamento básico da comunidade, caracterizada pela disposição inadequada de

resíduos sólidos, pela inexistência de banheiros e pelo uso de fossas sépticas ou soluções irregulares de esgotamento sanitário.

A população sem acesso adequado aos serviços de saneamento fica vulnerável às situações que os induzem a utilizar de recursos hídricos inapropriados para o consumo humano e, consequentemente, à contaminação por organismos causadores de doenças de origem hídrica (Santos; Paes; Pessoa, 2023). A avaliação de risco realizada por Sousa (2024) reforça a gravidade desse cenário, ao classificar esses fatores como eventos perigosos de muito alto risco em todas as SACs na comunidade Cantinho.

Os resultados das análises *in situ* e laboratoriais executadas pelo PSA, Tabela 11, confirmaram a degradação da qualidade da água dos poços que abastecem os chafarizes da comunidade, com a detecção de CT e *E. coli,* com apenas 20,0 % de conformidade para ambos os microrganismos. O diagnóstico também identificou, assim como na água captada pelo SAA Venâncio, concentrações elevadas de nitrato na água bruta dos mananciais subterrâneos que abastecem os chafarizes, com 20,0% adequado ao VMP e valores de até 97,10 mg/L, contaminação que pode ser resultado do uso predominante do solo para atividades agrícolas.

Apesar da conformidade de 75,0% das amostras na Tabela 11, foram constatados altos níveis de ferro e manganês na água bruta em um dos chafarizes da comunidade, com valores máximos de 9,40 mg/L e 5,20 mg/L, respectivamente. Segundo a resolução Conama nº 396/2008 e a portaria de potabilidade, a concentração máxima de ferro deve ser de 0,30 mg/L e de 0,10 mg/L para o manganês na água subterrânea utilizada para abastecimento humano. Estes elementos, em altas concentrações, conferem cor marrom ou avermelhada a água, o que foi constado com os valores elevados de cor aparente, de até 3.888,00 uH.

Em concentrações elevadas, o ferro e manganês podem provocar a redução da vida útil de determinados equipamentos do sistema ou solução de abastecimento e incrustações em tubulações (Rocha et al., 2006). Além disso, o consumo de ferro em altas concentrações pode provocar seu acúmulo no fígado, pâncreas, coração e hipófise, causando hemocromatose no consumidor, além de favorecer o desenvolvimento de microrganismos na água, como as ferrobactérias (Cetesb, 2008; Scorsafava et al., 2010). Quanto ao excesso de manganês, essa condição tem potencial para induzir distúrbios neurotóxicos que podem estar associados a doença de Alzheimer, Esclerose Lateral Amiotrófica, doença de Huntington e Parkinson (Hernández et al., 2020).

Também ocorreu turbidez acima do VMP, de 957,00 uT. Durante visita técnica, a população da localidade relatou que a água do poço em questão também possui sabor e odor

desagradáveis e não é utilizada para beber, preparar alimentos ou nas atividades domésticas (Funasa e UFCG, 2023).

Tabela 11 - Análise dos dados da qualidade da água do PSA dos SACs Cantinho

Chafarizes (Prefeitura Municipal)					
Parâmetro	**Valor médio**	**Valor mínimo**	**Valor máximo**	**VMP***	**Conformidade (%)**
Cor aparente (uH)	272,82	0,00	3880,00	272,82	80,0
Turbidez (uT)	70,47	0,00	957,00	70,47	75,0
pH	5,05	3,32	6,07	5,05	5,0
Nitrato (mg/L)	33,65	0,01	97,05	33,65	20,0
Cloretos (mg/L)	216,37	31,95	394,05	216,37	50,0
Dureza (mg/L)	113,10	64,00	300,00	113,10	100,0
Ferro (mg/L)	1,40	0,00	9,43	1,40	75,0
Manganês (mg/L)	0,41	0,00	5,17	0,41	80,0
CT	-	-	-	Ausente em 100 ml	20,0
E. coli	-	-	-	Ausente em 100 ml	20,0
Dessalinizador (SOHIDRA)**					
Parâmetro	**Valor médio**	**Valor mínimo**	**Valor máximo**	**VMP***	**Conformidade (%)**
CRL (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,2 - 5,0	0,0
Cor aparente (uH)	0,00	0,00	0,00	10,0	100,0
Turbidez (uT)	0,02	0,00	0,10	5,0	100,0
pH	5,25	5,09	5,45	6,0 - 9,0	0,0
Nitrato (mg/L)	4,33	0,00	18,35	10,0	80,0
Cloretos (mg/L)	108,63	7,10	465,05	250,0	80,0
Dureza (mg/L)	86,80	2,00	400,00	300,0	80,0
Ferro (mg/L)	0,05	0,00	0,20	0,3	100,0
Manganês (mg/L)	0,01	0,00	0,02	0,1	100,0
CT	-	-	-	Ausente em 100 ml	20,0
E. coli	-	-	-	Ausente em 100 ml	80,0

* VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).

** Análise de amostras coletadas na torneira utilizada pela população para obter água.

Fonte: Adaptado de Funasa e UFCG (2023).

A água dos mananciais subterrâneos contemplados pelo PSA possui alta concentração de cloretos, como observa-se na Tabela 11, chegando a 465,10 mg/L, o que atribui um sabor salgado a água e rejeição por parte da população para consumo humano. Importante destacar que, o valor máximo de cloretos foi identificado no dessalinizador da Sohidra, logo após o

tratamento, concluindo-se que a solução não é eficiente como o esperado. A dureza da água do dessalinizador também esteve acima dos valores permitidos para consumo humano, com valor de até 400,00 mg/L, quando o recomentado pela legislação é de até 300 mg/L.

Ademais, foram identificadas a presença de bactérias na água proveniente do mesmo dessalinizador, principalmente a CT com apenas 20,0% de conformidade, e ausência do CRL em todas as amostras, evidenciando a negligência da etapa de desinfecção no controle dos riscos à saúde (Funasa e UFCG, 2023). Considerando que o pH das amostras dos mananciais que abastecem os chafarizes e dessalinizador variaram de 3,3 e 6,1, é importante que os prestadores do serviço considerem essa peculiaridade local para controle da desinfecção, pois essas condições, segundo Grigoletto et al. (2024), podem influenciar na eficiência da ação do cloro.

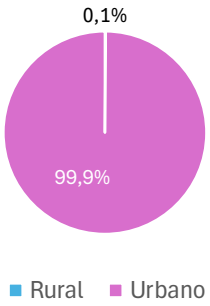
A situação do abastecimento da comunidade Cantinho reforça a urgência de, além da implementação de soluções de abastecimento seguras e atuação efetiva dos prestadores de serviço, um plano de monitoramento da qualidade da água que inclua todas as fragilidades que foram identificadas no PSA. Também deverá avaliar as atividades e condições do saneamento básico existentes na área de contribuição das captações, em consonância com os princípios da abordagem preventiva preconizada pela portaria de potabilidade e manuais para implementação de PSAs. Importante destacar que, as ações de monitoramento necessitam ser adaptadas à capacidade técnica e financeira do prestador de serviço.

5.1.2 Crateús

O município de Crateús/CE possui 84,4% da população com acesso ao abastecimento de água tratada. Entretanto, cerca de 60,8% da população não possui acesso à coleta de esgoto e apenas 37,5% dos efluentes gerados são tratados. Em 2024, foram registradas 141 internações por doenças de veiculação hídrica, incluindo três óbitos. Aproximadamente 26,8% da população do município reside em áreas rurais (SINISA, 2024).

O município de Crateús/CE apresentou a maior escassez de dados, como constatado na Figura 25 e Tabela 12. Entre os 5.113 registros no Sisagua, apenas 6 (0,1%) referiram-se ao meio rural, provenientes de duas soluções alternativas situadas em sítios. Ou seja, o município possui quase uma inexistência de monitoramento da qualidade da água fora da área urbana. Do total de 96 localidades identificadas, apenas 40 são atendidas pelo Sisar BPA, cada uma vinculada a um sistema de abastecimento (IBGE, 2022; Ceará, 2021). Entretanto, não foram identificados registros da qualidade da água desses sistemas ou de qualquer outro prestador no Sisagua, evidenciando uma dificuldade de monitoramento e sistematização para o meio rural.

Figura 25 - Distribuição de registros de monitoramento urbanos e rurais em Crateús/CE



Fonte: Própria autora (2025).

Tabela 12 - Quantitativo e caracterização dos dados da área rural de Crateús/CE

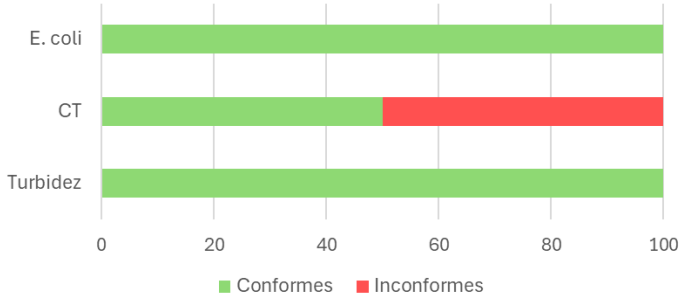
Parâmetros	Nº de registros	Período
Turbidez	2	Jul/2021 e Dez/2023
Coliformes totais	2	
E. coli	2	
Total de registros	6	

Fonte: Própria autora (2025).

Além da situação crítica de disponibilidade de informações, os dados da única localidade estavam restritos a análises de turbidez e parâmetros microbiológicos, demonstrando mais uma fragilidade das ações de vigilância do município, principalmente na ausência de dados de CRL, considerados um dos indicadores sentinelas para segurança da água. De acordo com o Art. 44, § 3º, em todas as amostras coletadas para análises bacteriológicas, deve ser efetuada a medição de cor, turbidez e CRL.

Os dados de Crateús/CE correspondem a amostras coletadas em Soluções Alternativas Individuais (SAI), como cisternas e cacimbas, sem informações sobre a adoção de qualquer processo de tratamento da água. Os resultados de turbidez atenderam ao padrão de potabilidade vigente. Em relação aos parâmetros microbiológicos, o reduzido número de registros indicou conformidade intermediária para CT (50,0%), enquanto 100% dos resultados para *E. coli* atenderam ao padrão estabelecido pela portaria, sugerindo ausência de contaminação fecal nas amostras avaliadas (Figura 26).

Figura 26 - Conformidade dos parâmetros na área rural de Crateús/CE



Fonte: Própria autora (2025).

5.1.2.1 SAA Carrapateira

Não foram identificados registros de monitoramento da qualidade da água no Sisagua que pudessem ser associados ao SAA Carrapateira. Em consulta do diagnóstico do PSA do desse sistema, representado na Tabela 13, foram encontrados registros de ausência de CRL na saída do tratamento, na ponta de rede e em amostra coletada no ponto de apoio da saúde que atende a comunidade, configurando situação de risco com base em uma conformidade de apenas 35,0% das amostras. Nessas mesmas amostras, foram detectados CT e *E. coli*, evidenciando falha no processo de desinfecção e comprometimento da barreira microbiológica. Estudo realizado por Grigoletto et al. (2024), no período de 2020 a 2022, identificou que a presença de microrganismos patogênicos na água de estabelecimentos de saúde foi mais recorrente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, com maior vulnerabilidade da população dessas áreas à ocorrência de doenças de veiculação hídrica.

Adicionalmente, na Tabela 13, foram observados valores elevados de nitrato, de até 61,70 mg/L e apenas 20,0% de conformidade, dureza, com máximo de 364,0 mg/L, e cloretos com concentrações de 297,7 mg/L. Para as águas de origem subterrânea esperam-se valores mais elevados de dureza do que nas águas de origem superficial. É comum que a presença dos minerais causadores da dureza dificultem a formação de espuma, implicando num maior consumo de sabão, e, em determinadas concentrações cause sabor desagradável na água e efeitos laxativos (Funasa e UFCG, 2023; Barbosa et al., 2025).

Tabela 13 - Análise dos dados da qualidade da água do PSA dos SAA Carrapateira

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	VMP*	Conformidade (%)
CRL (mg/L)	0,57	0,00	2,52	0,2 - 5,0	35,0
Cor aparente (uH)	0,28	0,00	4,40	10,0	100,0
Turbidez (uT)	0,15	0,00	2,22	5,0	100,0
pH	7,12	6,55	7,99	6,0 - 9,0	100,0
Nitrato (mg/L)	35,27	4,72	61,65	10,0	20,0
Cloretos (mg/L)	196,31	113,60	294,65	250,0	80,0
Dureza (mg/L)	287,10	202,00	364,00	300,0	71,4
Ferro (mg/L)	0,01	0,00	0,07	0,3	100,0
Manganês (mg/L)	0,01	0,00	0,06	0,1	100,0
CT	-	-	-	Ausente em 100 ml	60,0
E. coli	-	-	-	Ausente em 100 ml	76,0

* VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).
Fonte: Adaptado de Funasa e UFCG (2023).

O SAA Carrapateiras configura mais um sistema que apresenta fragilidades na segurança da qualidade da água ao longo de todo o percurso de abastecimento, desde o manancial até a rede de distribuição. Os resultados evidenciam a necessidade de inclusão do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas em áreas rurais, considerando suas características naturais e a elevada vulnerabilidade à degradação decorrente de atividades antrópicas. Ademais, destaca-se a importância do fortalecimento do controle operacional da concentração de CRL, de modo a assegurar a manutenção das barreiras sanitárias e a proteção microbiológica da água até o ponto de consumo.

5.1.2.2 SAA Realejo

Apesar do SAA Realejo ser considerado um sistema de grande porte e estruturado, não foram encontrados registros sobre a qualidade da água no Sisagua entre 2021 e 2023. Considerando as análises do PSA, com resultados na Tabela 14, estas indicaram concentração adequada de CRL na maior parte das amostras, com 60,0% de conformidade, mas com alguns episódios de ausência ou decaimento do agente desinfetante, presença de CT e aumento da cor aparente para 28,20 uH na escola da comunidade. Esses achados sugerem que, embora a água seja submetida à desinfecção, podem estar ocorrendo falhas na manutenção do residual desinfetante ou vulnerabilidades na rede de distribuição, possibilitando a recontaminação da água tratada.

Tabela 14 - Análise dos dados da qualidade da água do PSA dos SAA Realejo

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	VMP*	Conformidade (%)
CRL (mg/L)	0,68	0,00	2,00	0,2 - 5,0	60,0
Cor aparente (uH)	1,81	0,00	28,20	10,0	95,0
Turbidez (uT)	0,43	0,00	2,50	5,0	100,0
pH	6,95	6,28	7,30	6,0 - 9,0	100,0
Nitrato (mg/L)	19,81	6,62	28,60	10,0	20,0
Cloretos (mg/L)	458,27	384,40	532,50	250,0	0,0
Dureza (mg/L)	596,80	508,00	712,00	300,0	0,0
Ferro (mg/L)	0,02	0,00	0,12	0,3	100,0
Manganês (mg/L)	0,01	0,00	0,03	0,1	100,0
CT	-	-	-	Ausente em 100 ml	85,0
E. coli	-	-	-	Ausente em 100 ml	100,0

* VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).
Fonte: Adaptado de Funasa e UFCG (2023).

Farias e Galvão (2023), também constataram a ausência ou baixa concentração do CRL em escolas rurais do município de Humaitá, no Amazonas, fato que, segundo os autores, configura risco sanitário, especialmente para grupos mais vulneráveis que são frequentadores das escolas. Esse contexto destaca a necessidade de integração sistemática entre dados operacionais do sistema, resultados de monitoramento da qualidade da água e indicadores epidemiológicos de saúde.

Quanto a água bruta do poço do sistema, na Tabela 14, foram registrados valores elevados de nitrato, dureza e cloretos, com máximos de 28,6 mg/L, 712 mg/L e 532,5 mg/L, respectivamente, que não são corrigidos com o tratamento simplificado adotado. O sabor salgado da água devido ao excesso de cloretos é uma das principais queixas da população abastecida, motivando a preferência pelo consumo de água armazenada em cisternas (Funasa e UFCG, 2023).

Diante da ausência de registros no Sisagua, bem como da dependência exclusiva das informações oriundas dos diagnósticos do PSA, constata-se que, tanto no âmbito da gestão municipal quanto no modelo de gestão do Sisar BPA, há um cenário de escassez ou inexistência de dados qualificados sobre a qualidade da água distribuída nos sistemas rurais. Essa lacuna evidencia fragilidades nos processos de coleta, registro, sistematização e transparência das informações, comprometendo as ações de vigilância, controle e tomada de decisão. Como

consequência, ampliam-se os riscos sanitários associados às não conformidades identificadas, com potenciais impactos à saúde da população.

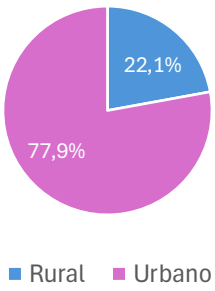
5.1.3 Tauá

O município de Tauá/CE possui 85,1% da população com acesso ao abastecimento de água tratada, enquanto 92,0% dos habitantes não possuem acesso à coleta de esgoto e apenas 8,2% dos efluentes são tratados. O número de internações por doenças de veiculação hídrica em 2024 foi de 329, incluindo quatro óbitos. Cerca de 35,7% dos habitantes do município se encontram em áreas rurais (SINISA, 2024).

Em Tauá/CE, dos 6.846 registros disponíveis, apenas 1.115 (22,1%) referem-se ao abastecimento em áreas rurais (Figura 27). Foram identificadas análises de quatro parâmetros: CRL, turbidez, CT e *E. coli*. Os dados apresentaram descontinuidade temporal ao longo do período analisado, evidenciando fragilidades no monitoramento sistemático. Destaca-se, ainda, a realização de apenas uma análise de CRL em todo o banco de dados, o que compromete a avaliação da eficiência da desinfecção e da manutenção da proteção sanitária na rede de distribuição (Tabela 15).

O município possui 65 localidades rurais, com 32 atendidas pelo Sisar BAJ, distribuídas em 19 sistemas de abastecimento (IBGE, 2022; Ceará, 2021). Contudo, mesmo com a gestão compartilhada há uma cobertura limitada de monitoramento da qualidade da água, constatando-se que apenas 9 desses sistemas apresentaram registros no Sisagua dentro do período analisado.

Figura 27 - Distribuição de registros de monitoramento urbanos e rurais em Tauá/CE



Fonte: Própria autora (2025).

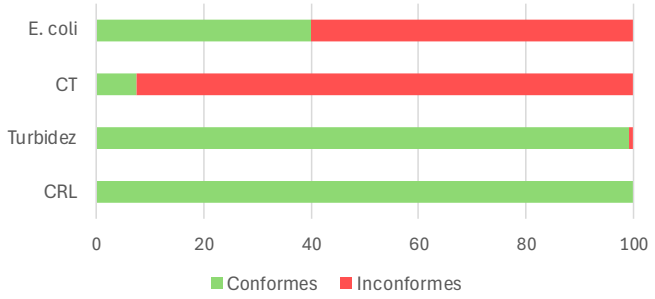
Tabela 15 - Quantitativo e caracterização dos dados da área rural de Tauá/CE

Parâmetros	Nº de registros	Período
Cloro residual livre	1	Jan/2021 a Dez/2023
Turbidez	506	
Coliformes totais	504	
E. coli	504	
Total de registros	1.515	

Fonte: Própria autora (2025).

O nível de conformidade das amostras cadastradas está na Figura 28, sendo estas coletadas em sistemas de abastecimento operados pelo Sisar e pela Cagece, bem como soluções alternativas coletivas e individuais. O único dado para CRL apresentou conformidade. A turbidez apresentou 99,2% dos registros de acordo com os padrões de potabilidade. Quanto aos resultados microbiológicos, estes indicaram um cenário crítico para a área rural de Tauá/CE, com elevados percentuais de não conformidade para CT (92,5%) e para *E.coli* (60,1%). Ou seja, apesar da adequação dos parâmetros físico-químicos, o abastecimento rural do município enfrenta fragilidades relacionadas à eficiência do tratamento e/ou à ocorrência de contaminação ao longo das etapas de distribuição e armazenamento da água.

Figura 28 - Conformidade dos parâmetros na área rural de Tauá/CE



Fonte: Própria autora (2025).

5.1.3.1 SAA Santo Antônio

O SAA Santo Antônio com apenas 21 registros de qualidade da água no Sisagua no período analisado, todos referentes a amostras coletadas na rede de distribuição e em ligações intradomiciliares, concentradas no mês de janeiro de 2021. Os dados contemplam os parâmetros turbidez, CT e *E. coli*, mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Santo Antônio

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	Nº de registros	VMP*	Conformidade (%)
Turbidez (uT)	0,10	0,00	0,20	7	5,0	100,0
CT	-	-	-	7	Ausente em 100 ml	0,0
E. coli	-	-	-	7	Ausente em 100 ml	42,9

*VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).

Fonte: Própria autora (2025).

A turbidez da Tabela 16 apresentou valor médio de 0,10 uT e máximo de 0,20 uT, mantendo-se abaixo do VMP da portaria de potabilidade. Todas as amostras apresentaram inconformidade para CT, com detecção desses microrganismos na rede de distribuição. Para *E. coli*, 42,9% das amostras indicaram presença do indicador de contaminação fecal. Este indício de contaminação da água tratada é preocupante, sendo necessário questionar a eficiência do tratamento adotado para o SAA e a segurança da rede de distribuição. A presença desses indicadores microbiológicos na água pode representar risco à saúde da população abastecida, especialmente pela possibilidade de ocorrência de doenças de veiculação hídrica.

Um ponto importante a destacar é a necessidade do acompanhamento sistemático CRL, parâmetro não registrado no Sisagua para o sistema, mas essencial para a avaliação da eficiência da desinfecção e da proteção sanitária da rede. Em dados de 2023 do PSA do SAA Santo Antônio, ocorreram episódios com ausência de CRL na ponta da rede de distribuição. No mesmo período, o PSA registrou a presença de CT e *E. coli* na água bruta do poço, o que reforça a importância do acompanhamento da eficiência da desinfecção. Analisando a água bruta do poço que abastece o SAA, o plano de segurança constatou uma dureza elevada, de até 430,00 mg/L, acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 396/2008 (Funasa e UFCG, 2023). Sendo assim, este é mais um sistema que necessita de monitoramento da sua água bruta na busca de adequação para o tratamento adequado.

5.1.3.2 SAA Calumbi

Para o SAA Calumbi, não foram identificados registros de monitoramento da qualidade da água no Sisagua no período analisado, de modo que a avaliação foi fundamentada exclusivamente nas informações PSA e em dados complementares da literatura e das visitas técnicas realizadas. Todos os achados estão na Tabela 17.

O PSA do SAA Calumbi constatou a ausência de CRL na ponta da rede e em amostras coletadas na escola da comunidade, bem como a redução da concentração em determinados

trechos do sistema resultando em uma conformidade de apenas 26,7%, como consta na Tabela 17. Batista (2024) confirmou que a inconformidade nos níveis do agente desinfetante torna o sistema vulnerável e resulta em risco à saúde da população. Apesar disso, as amostras estiveram ausentes de CT e *E. Coli* durante todo o período de monitoramento do PSA. Destaca-se ainda que, segundo informações da Agente Comunitária de Saúde (ACS) de Calumbi, no ano de 2022 ocorreram 10 casos de diarreia na comunidade (Funasa e UFCG, 2023).

Tabela 17 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Calumbi

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	VMP*	Conformidade (%)
CRL (mg/L)	0,28	0,00	2,00	0,2 - 5,0	26,7
Cor aparente (uH)	0,05	0,00	1,04	10,0	100,0
Turbidez (uT)	0,32	0,00	2,76	5,0	100,0
pH	6,91	6,70	7,02	6,0 - 9,0	100,0
Nitrato (mg/L)	55,15	22,27	74,95	10,0	0,0
Cloretos (mg/L)	220,78	170,40	262,70	250,0	60,0
Dureza (mg/L)	334,00	254,00	464,00	300,0	40,0
Ferro (mg/L)	0,04	0,00	0,15	0,3	100,0
Manganês (mg/L)	0,01	0,00	0,03	0,1	100,0
CT	-	-	-	Ausente em 100 ml	100,0
E. coli	-	-	-	Ausente em 100 ml	100,0

*VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).

Fonte: Funasa e UFCG (2023).

Assim como no SAA Santo Antônio, foram encontradas altas concentrações de nitrato em todas as amostras da água bruta do poço, de até 74,95 mg/L, como consta na Tabela 17, parâmetro de relevância sanitária e que não é removido pelo tratamento simplificado adotado na comunidade. Além da elevada dureza, de até 464,00 mg/L, também há excesso de cloretos na água do manancial, com um máximo de 262,70 mg/L.

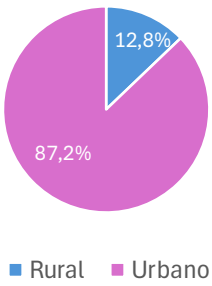
A ausência ou o decaimento do CRL na rede de distribuição, associado à presença de nitrato na água bruta e o registro de doenças diarreicas na comunidade, evidencia um conjunto de fatores que, de forma integrada, configuram cenário de vulnerabilidade sanitária, mesmo sem a detecção de microrganismos patogênicos. A concomitância desses achados reforça a necessidade de associação entre o monitoramento da qualidade da água distribuída e os agravos à saúde da população.

5.1.4 Tianguá

No município de Tianguá/CE, 67,1% da população possui acesso ao abastecimento de água tratada. Em contrapartida, os serviços de esgotamento sanitário ainda apresentam baixa cobertura, uma vez que 78,5% da população não dispõe de coleta de esgoto e apenas 22,7% dos efluentes gerados são submetidos a tratamento. No mesmo período, foram registradas 80 internações por doenças de veiculação hídrica e quatro óbitos associados a essas enfermidades. Aproximadamente 32,8% dos habitantes do município residem em áreas rurais (SINISA, 2024).

No que diz respeito a Tianguá/CE, embora apresentasse registros para os cinco parâmetros, possuía somente 732 resultados para área rural (12,8%), dos 5.697 disponíveis (Figura 29). Os dados referiram-se à qualidade da água em sistemas de abastecimento, vinculados ao Sisar ou sem identificação do prestador de serviço, além de SACs e SAIs. Assim como observado nos demais municípios, verificou-se descontinuidade temporal e desproporção no volume de dados entre os parâmetros monitorados. Conforme a Tabela 18, o CRL apresentou o menor número de registros no Sisagua, caracterizando mais um cenário de monitoramento insuficiente desse parâmetro sentinela.

Figura 29 - Distribuição de registros de monitoramento urbanos e rurais em Tianguá/CE



Fonte: Própria autora (2025).

Tabela 18 - Quantitativo e caracterização dos dados da área rural de Tianguá/CE

Parâmetros	Nº de registros	Período
Cloro residual livre	39	Mar/2021 a Nov/2023
Cor aparente	154	
Turbidez	179	
Coliformes totais	180	
E. coli	180	
Total de registros	732	

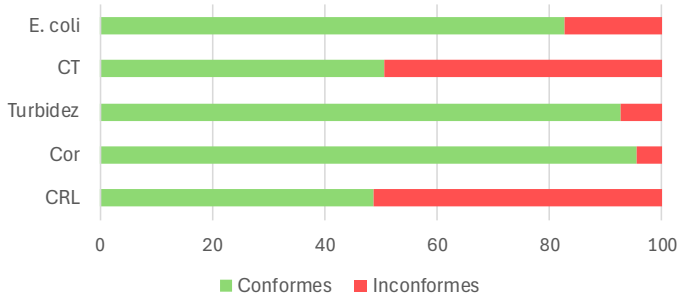
Fonte: Própria autora (2025).

Do total de 60 localidades rurais existentes em Tianguá/CE, apenas 11 são atendidas pelo Sisar BPA, distribuídas em 8 sistemas de abastecimento (IBGE, 2022; Ceará, 2021). No

entanto, foram identificados registros da qualidade da água para apenas um desses sistemas, evidenciando, mais uma vez, uma cobertura limitada de monitoramento. Esse cenário revela uma lacuna significativa na vigilância da qualidade da água no meio rural sob a gestão do Sisar BPA, padrão que também foi observado em Crateús/CE, também atendido por esse mesmo prestador.

Foi constatado elevado percentual de não conformidades para CRL, com 51,28% das amostras fora do padrão estabelecido, indicando falhas na manutenção da concentração do agente desinfetante nos sistemas de distribuição e demais formas de abastecimento cadastrados no Sisagua. Em contrapartida, a cor aparente e turbidez apresentaram elevados índices de conformidade, acima de 90,0% em ambos os parâmetros. No que se refere aos resultados microbiológicos, os CT estiveram ausentes em pouco mais da metade das amostras (50,6%), enquanto a *E. coli* apresentou melhor desempenho sanitário, estando ausente em 82,8% das análises (Figura 30).

Figura 30 - Conformidade dos parâmetros na área rural de Tianguá/CE



Fonte: Própria autora (2025).

5.1.4.1 SAA Acarape

O SAA Acarape apresentou repetição de registros no Sisagua, sem variabilidade dos dados, com 21 resultados para os parâmetros de cor aparente, turbidez, CT e *E. coli*, para amostras coletadas no sistema de distribuição em maio de 2021. A análise dos dados consta na Tabela 19.

Todos os valores analisados estiveram em conformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021, com todas as amostras de todos os parâmetros acordo com VMP. A cor aparente apresentou valor constante de 10,00 uH, enquanto a turbidez manteve-se em 0,10 uT em todas as amostras. Nas análises microbiológicas observou-se total conformidade para ambos os

grupos de microrganismos avaliados, com ausência de CT e de *E. coli*, indicando adequado desempenho do tratamento simplificado do sistema.

Tabela 19 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Acarape

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	Nº de registros	VMP*	Conformidade (%)
Cor aparente (uH)	10,00	10,00	10,00	7	10,0	100
Turbidez (uT)	0,10	0,10	0,10	7	5,0	100
CT	-	-	-	7	Ausente em 100 ml	100
E. coli	-	-	-	7	Ausente em 100 ml	100

*VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).

Fonte: Própria autora (2025).

Os dados do PSA e as análises complementares apresentadas por Batista (2024) indicam cenário distinto do encontrado no Sisagua. Não foram identificadas inconformidades para CT e *E. coli*, tanto na água bruta quanto na rede de distribuição, e os valores de cor aparente e turbidez mantiveram-se dentro do valor máximo permitido pela portaria. Entretanto, foi constatada ausência de CRL na ponta da rede e na amostra coletada na escola da comunidade, condição que torna a população vulnerável a contaminações secundárias. Ademais, foram registradas concentrações elevadas de nitrato na água bruta dos poços, atingindo valores de até 30,50 mg/L (Funasa e UFCG, 2023; Batista, 2024).

Importante destacar que, todos os poços apresentaram pH ácido da água bruta, com valores entre 3,61 e 4,73. Segundo Gomes (2006), as águas de pH baixo tendem a ser corrosivas ou agressivas a determinados materiais. Por outro lado, Grigoletto et al. (2024), ao analisarem a qualidade da água em estabelecimentos de saúde situados em áreas rurais do Brasil, observaram que o pH mais ácido das amostras da região Centro-Oeste pode ter contribuído para maior efetividade do agente desinfetante, resultando em menor incidência de coliformes totais e *E. coli*. Sendo assim, o monitoramento adequado do pH no SAA Acarape é necessário para avaliar a eficiência e o mecanismo de ação do agente desinfetante, considerando as características atuais da água bruta dos poços.

5.1.4.2 SAA Tabocas

Não foram identificados dados no Sisagua para o SAA Tabocas no período analisado, sendo mais uma comunidade rural sob gestão do Sisar BPA sem o devido registro do monitoramento preconizado pela portaria de potabilidade. Diante disso, apenas o diagnóstico

do PSA e as visitas de campo fundamentaram a análise das fragilidades para este sistema. Os dados analisados do plano de segurança da água do sistema estão na Tabela 20.

Tabela 20 - Análise dos dados da qualidade da água do SAA Tabocas

Parâmetro	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	VMP*	Conformidade (%)
CRL (mg/L)	1,10	0,00	3,00	0,2 - 5,0	66,7
Cor aparente (uH)	0,29	0,00	6,80	10,0	100,0
Turbidez (uT)	0,27	0,00	2,11	5,0	100,0
pH	4,34	3,75	5,17	6,0 - 9,0	0,0
Nitrato (mg/L)	10,82	0,00	25,10	10,0	70,0
Cloretos (mg/L)	44,96	35,50	67,45	250,0	100,0
Dureza (mg/L)	54,50	36,00	98,00	300,0	100,0
Ferro (mg/L)	0,03	0,00	0,16	0,3	100,0
Manganês (mg/L)	0,01	0,00	0,09	0,1	100,0
CT	-	-	-	Ausente em 100 ml	92,0
E. coli	-	-	-	Ausente em 100 ml	92,0

*VMP = valor máximo permitido (Portaria nº 888/2021).

Fonte: Funasa e UFCG (2023).

Na análise de dados do PSA foram constatados episódios de ausência de CRL em amostras coletadas na escola da comunidade. Apesar disso, não foi detectada a presença de microrganismos patogênicos em nenhuma das coletas nesse ponto de monitoramento, mesmo sem a concentração adequada do agente desinfetante. As conformidades para CT e *E. coli* foram de 92,0%, com detecção da presença de bactérias apenas uma única vez na ponta da rede. Ressalta-se que, nessa ocorrência, a amostra apresentou concentração de CRL de 2,0 mg/L, indicando possível recontaminação localizada ou proteção insuficiente do sistema, mesmo na presença de concentração adequada do desinfetante.

Assim como no SAA Acarape, observou-se o pH ácido na água bruta, entre 3,75 e 5,17, condição que pode favorecer processos de corrosão nas tubulações e influenciar a ação do agente desinfetante. Também ocorreram episódios em que a água bruta apresentou concentrações elevadas de nitrato, de até 25,10 mg/L, sendo mais um manancial subterrâneo do município de Tianguá/CE que está contaminado por esse químico e em decorrência das atividades agropecuárias da região. Os demais parâmetros estiveram de acordo com a portaria de potabilidade, concluindo-se que a fragilidade do sistema, além da escassez de dados, também está ligando ao controle do pH da água, das concentrações de CRL e nitrato.

5.2 Priorização dos parâmetros da qualidade da água

Neste tópico são apresentados os resultados da aplicação do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para priorização dos critérios e grupos de parâmetros para monitoramento da qualidade da água no meio rural. Para obtenção dos julgamentos paritários, foi disponibilizada versão eletrônica dos questionários a especialistas com atuação nos serviços de saneamento básico e, especificadamente, com atuação no saneamento rural. Além da apresentação dos pesos de priorização definidos a partir da agregação dos julgamentos, também são apresentados os resultados da análise de consistência das matrizes, realizada por meio da Razão de Consistência (RC), visando avaliar a coerência dos julgamentos realizados pelos especialistas.

5.2.1 Priorização dos critérios

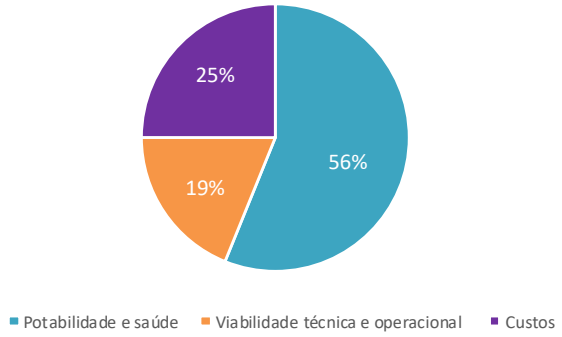
A análise de consistência e priorização dos critérios utilizados na aplicação da AHP foi executada considerando sua posição hierárquica superior no processo decisório proposto. Os julgamentos dos especialistas foram submetidos à análise da RC com o objetivo de avaliar a coerência das matrizes de comparação respondidas. Conforme definido nos procedimentos metodológicos, foram considerados consistentes os julgamentos com RC $\leq$ 0,20, sendo descartadas as matrizes que apresentaram valores superiores a esse valor limite.

Dos oito questionários respondidos, cinco apresentaram consistência satisfatória e foram utilizados na agregação dos julgamentos para definição dos pesos dos critérios. As matrizes classificadas como inconsistentes deveriam, idealmente, ser revisadas pelos especialistas responsáveis, conforme recomendado na literatura da AHP, visando à redução das incoerências dos julgamentos. Entretanto, devido às limitações relacionadas ao cronograma de execução da pesquisa e à disponibilidade dos especialistas para reavaliação, optou-se pelo descarte dessas matrizes, priorizando a utilização apenas dos julgamentos classificados como consistentes. Os resultados da priorização dos critérios obtidos a partir da agregação das matrizes válidas são apresentados na Figura 31.

Os julgamentos considerados mostraram uma maior relevância do critério potabilidade e saúde no processo decisório para monitoramento da qualidade da água em áreas rurais, que apresentou peso de 56,0%. Ou seja, os aspectos relacionados à segurança sanitária da água tenderam a exercer maior influência na tomada de decisão do que as limitações operacionais e financeiras. Este resultado corrobora com os obtidos na priorização executada por Raid (2017), que demonstrou que, nos diversos modelos de prestação dos serviços de abastecimento de água

em áreas rurais, a qualidade e segurança da água devem ser priorizadas. Apesar dos pesos relativos inferiores dos critérios viabilidade técnica e operacional e custos financeiros, com 25,0% e 19,0%, respectivamente, ambos também exercem influência na definição dos parâmetros a serem monitorados no contexto rural, principalmente devido às limitações orçamentárias, estruturais e operacionais que devem ser consideradas no processo da tomada de decisão.

Figura 31 - Pesos de priorização dos critérios



Fonte: Própria autora (2026).

5.2.2 Priorização dos parâmetros por contextos de abastecimento de água rural

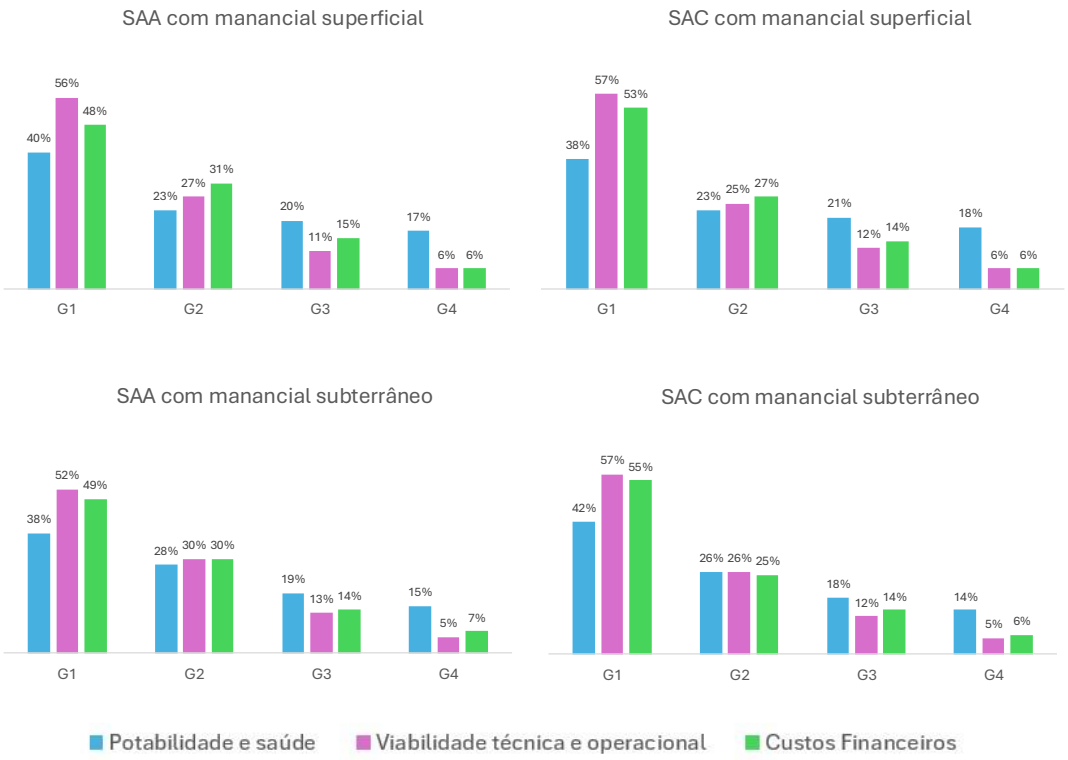
Assim como realizado na priorização dos critérios, os julgamentos dos especialistas quanto aos contextos de abastecimento foram submetidos à análise da RC, sendo descartadas as matrizes com valores superiores ao limite de 0,20, permanecendo válidos cinco questionários para agregação das matrizes e definição dos pesos dos grupos de parâmetros (G1, G2, G3 e G4). Todos os pesos de priorização obtidos por contextos são apresentados na Figura 32.

Os resultados evidenciaram padrões recorrentes de priorização entre os grupos avaliados, como a predominância do grupo G1 em todos os contextos, independentemente do critério considerado, indicando consenso entre os especialistas quanto à necessidade de priorização de parâmetros essenciais para atendimento da portaria de potabilidade e à proteção imediata da saúde pública.

Os parâmetros que compõem o grupo G1, como CRL, *E. coli*, cor aparente e turbidez, são considerados indicadores sentinelas pela literatura e recomendados pelas diretrizes nacionais, como a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental do Ministério da Saúde, pois possibilitam a identificação precoce de situações de risco à saúde da população por meio de métodos simples, rápidos, práticos e de menor custo

operacional (Araújo, 2010; Sousa et al., 2022; Souza, 2023). Estabelecendo-se uma relação entre a percepção dos especialistas consultados e as constatações observadas no abastecimento rural das comunidades do Ceará, verifica-se que o Sisar adota, em certa medida, essa lógica de priorização, uma vez que atualmente realiza o monitoramento de parâmetros sentinelas em seus sistemas, ainda que de forma descontínua.

Figura 32 - Pesos de priorização dos grupos de parâmetros por contexto



Fonte: Própria autora (2026).

Quanto ao G2, também foi constatada a relevância desse grupo e uma maior preocupação com aspectos da qualidade relacionados a características físico-químicas da água, como a condutividade elétrica, cloretos, dureza, entre outras que podem ser analisadas, principalmente, nas águas subterrâneas. No contexto das comunidades rurais do Ceará, observa-se a ausência de monitoramento sistemático desses parâmetros, mesmo diante de recorrentes relatos da população quanto à rejeição da água em função da elevada dureza e das altas concentrações de cloretos. Segundo informações fornecidas pela equipe técnica do Sisar, existem limitações técnicas, operacionais e financeiras para inserir esses parâmetros à rotina de monitoramento da qualidade da água.

Em contrapartida, os grupos G3 e G4 apresentaram menores pesos relativos, sobretudo quando avaliados sob o critério de viabilidade técnica e operacional, sugerindo que, apesar da preocupação com a potabilidade e saúde pública, os especialistas consideram haver limitações para a incorporação de parâmetros mais complexos na rotina de monitoramento.

As fragilidades e os desafios identificados nos sistemas e soluções de abastecimento das comunidades rurais do Ceará evidenciaram que, em função das contaminações nas águas subterrâneas, parâmetros pertencentes aos grupos G3 e G4 deveriam receber maior priorização, como o nitrato, considerando-se aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo, à presença de atividades potencialmente poluidoras e ao nível de acesso aos serviços de saneamento básico.

Embora as fontes de águas subterrâneas sejam mais protegidas que as fontes superficiais, não estão completamente livres de contaminação, o que tem sido um grave problema para a gestão das águas desses mananciais. Identificar a vulnerabilidade à contaminação desses aquíferos por meio de monitoramento pode ser um mecanismo eficaz na proteção a saúde das populações abastecidas e preservação desses mananciais (Silva et al, 2014; Silva; Santos, 2022).

A hierarquização dos parâmetros por meio da AHP constitui um importante instrumento de apoio à tomada de decisão na elaboração de planos de monitoramento da qualidade da água. Entretanto, sua utilização não deve ocorrer de forma isolada, devendo ser complementada pela análise de risco dos sistemas e soluções de abastecimento, considerando as fragilidades identificadas, bem como as condições ambientais, sanitárias e de uso e ocupação do solo das comunidades atendidas. Além disso, a definição das prioridades e a implementação dos planos de monitoramento demandam o compartilhamento de responsabilidades entre diferentes instituições, de modo que as decisões não fiquem restritas aos prestadores dos serviços de abastecimento. Esse processo deve envolver gestores de recursos hídricos, vigilâncias em saúde, órgãos ambientais, comitês de bacias hidrográficas, instituições de pesquisa, universidades e demais órgãos públicos com atuação no saneamento rural, favorecendo a integração de informações sobre a qualidade dos mananciais e subsidiando decisões mais compatíveis com os riscos identificados em cada contexto.

A ocorrência de concentrações elevadas de nitrato nas águas subterrâneas das comunidades rurais do estudo destacou-se como uma das principais preocupações identificadas no monitoramento da qualidade da água bruta. Esse resultado reforça a necessidade de incorporar ao monitoramento parâmetros relacionados à qualidade dos mananciais e às potenciais fontes de contaminação, bem como a importância de uma maior integração entre a

portaria de potabilidade e as resoluções que estabelecem diretrizes para o monitoramento e enquadramento das águas superficiais e subterrâneas, visando à adoção de estratégias mais compatíveis com as vulnerabilidades, características locais e limitações operacionais dos sistemas e soluções de abastecimento rurais.

5.3 Análise técnica e econômico-financeira para monitoramento da qualidade da água

Após a definição dos grupos de parâmetros prioritários para os diferentes contextos de abastecimento rural, procedeu-se à estruturação de planos de monitoramento para os sistemas e soluções da área de estudo, considerando as características dos mananciais, as fragilidades identificadas e os requisitos normativos atualmente vigentes. Com base nesses planos, foi realizada a avaliação da viabilidade financeira de sua implementação, contemplando aspectos operacionais, logísticos e de sustentabilidade financeira. Os resultados obtidos são apresentados a seguir, abrangendo a proposta de monitoramento e a análise dos custos associados à sua execução.

5.3.1 Planos de monitoramento

Os planos de monitoramento elaborados foram estruturados de forma a contemplar as especificidades de cada contexto de abastecimento, considerando os grupos de parâmetros priorizados pelos especialistas por meio da metodologia AHP, as exigências dos normativos de potabilidade e qualidade da água bruta dos mananciais e as fragilidades previamente identificadas nos sistemas e soluções alternativas de abastecimento durante a análise de dados. Os planos são apresentados no Quadro 7.

Os resultados da priorização dos grupos de parâmetros evidenciaram a predominância do grupo G1 em todos os contextos de abastecimento avaliados, refletindo sua alta relevância sob os critérios de potabilidade e saúde, viabilidade técnica e operacional e custos financeiros. Em função disso, esses indicadores sentinelas que compõem esse grupo constituíram a base dos planos de monitoramento propostos e foram inseridos em todos os planos e para todos os contextos.

Os grupos G2 e G3 foram incorporados de forma complementar, considerando as características dos mananciais e as fragilidades identificadas em cada contexto, como a as altas concentrações elevadas de ferro, manganês, cloretos e a dureza total elevado. Os parâmetros do grupo G4 foram mantidos para situações específicas de investigação ou de potencial risco à

saúde humana, já que, segundo priorização dos especialistas, possuem viabilidade técnica complexa e custos financeiros altos de execução.

Quadro 7 – Planos de monitoramento para SAAs e SAC das comunidades rurais do Ceará

Contexto	SAA/SAC	Grupos de parâmetros				Pontos de monitoramento
		G1	G2	G3	G4	
SAA e Superficial	Lagoa dos Encantos	CRL, Turbidez, cor aparente, pH, E. coli	CT, Ferro, Manganês	Nitrato, Nitrito, DBO/DQO, Fósforo Total, OD, Clorofila-a, Cianobactérias e bactérias heterotróficas	Apenas se necessário em caso de riscos à saúde humana	Captação, saída de tratamento, reservação, ponta de rede, pontos de apoio à saúde de Lagoa dos Porcos e Lagoa dos Ferreiras
	Lagoa do Juá					Captação, saída de tratamento, reservação, ponta de rede, ponto de apoio à saúde
SAA e Subterrâneo	Venâncio		CT, Dureza, Cloretos, CE	Nitrato, Nitrito, Fósforo total, bactérias heterotróficas e SDT		Captação, saída de tratamento, reservação, ponta de rede
	Carrapateira					Captação, saída de tratamento, reservação, ponta de rede, ponto de apoio à saúde
	Realejo					Captação, saída de tratamento, reservação, ponta de rede, ponto de apoio à saúde, creche, escolas
	Santo Antônio					Captação, saída de tratamento, reservação, ponta de rede, ponto de apoio à saúde

Quadro 7- Planos de monitoramento para SAAs e SAC das comunidades rurais do Ceará (continuação)

Contexto	SAA/SAC	Grupos de parâmetros				Pontos de monitoramento
		G1	G2	G3	G4	
SAA e Subterrâneo	Calumbi	CRL, Turbidez, cor aparente, pH, E. coli	CT, Dureza, Cloretos, CE	Nitrato, Nitrito, Fósforo total, bactérias heterotróficas e SDT	Apenas se necessário em caso de riscos à saúde humana	Captação, saída de tratamento, reservação, ponta de rede, ponto de apoio à saúde, escolas
	Acarape					Captação, saída de tratamento, reservação, ponta de rede, ponto de apoio à saúde, escola
	Tabocas					Captação, saída de tratamento, reservação, ponta de rede, ponto de apoio à saúde, escola
SAC e Subterrâneo	Cantinho		CT, Dureza, Cloretos, Ferro, Manganês, CE	Nitrato, Nitrito		Captação dos poços, reservação dos chafarizes e escola

Fonte: Própria autora (2026).

5.3.2 Custos e sustentabilidade financeira do monitoramento da qualidade da água

Os dados utilizados para a estimativa dos custos estão dispostos nas Tabela 21 e 22. Existe uma ampla variação no porte dos SAAs, com número de ligações ativas variando entre 43 e 653, resultando em diferenças na capacidade de arrecadação. Por ser abastecida por chafarizes sem ligações domiciliares, não se considerou ligações ativas no SAC Cantinho. Também foram observadas diferenças na abrangência dos planos de monitoramento, que contemplaram entre 3 e 8 pontos de coleta e entre 13 e 16 parâmetros de qualidade da água, de acordo com as características de cada contexto de abastecimento.

Tabela 21 – Dados operacionais dos SAAs e SAC

SAA/SAC	Nº de ligações ativas	Distância da sede do prestador (km)	Total de pontos de monitoramento	Total de parâmetros
Lagoa dos Encantos	653	Até 100 km	6	16
Lagoa do Juá	43	Até 100 km	5	16
Venâncio	80	Até 100 km	4	14
Cantinho	0	Até 100 km	3	13
Carrapateira	296	Até 100 km	5	14
Realejo	420	Até 100 km	8	14
Santo Antônio	80	De 101 a 150 km	5	14
Calumbi	95	De 101 a 150 km	7	14
Acarape	453	Maior que 150 km	6	14
Tabocas	168	Maior que 150 km	5	14

Fonte: Própria autora (2025).

Tabela 22 – Estruturas tarifárias dos SAAs e SAC

SAA/SAC	Tarifa de consumo até 10 m³ (R$)	Taxa para o operador (R$)	Taxa administrativa (R$)	Tarifa total (R$)
Lagoa dos Encantos	15,43	6,00	3,00	24,43
Lagoa do Juá	15,43	3,00	2,00	20,43
Venâncio	15,43	3,65	1,05	20,13
Cantinho	-	-	-	-
Carrapateira	15,21	6,00	1,50	22,71
Realejo	15,21	3,00	-	18,21
Santo Antônio	16,39	2,00	0,50	18,89
Calumbi	16,39	5,41	1,00	22,80
Acarape	15,21	3,00	1,50	19,71
Tabocas	15,21	6,00	5,00	26,21

Fonte: Própria autora (2025).

Os valores unitários adotados para os custos de mobilização e das análises laboratoriais estão de acordo com a cotação de preços de insumos e serviços da Embasa (2025) e encontram-se detalhados no Anexo A.

As diferenças operacionais e logísticas observadas influenciaram diretamente os custos de implementação e a sustentabilidade financeira do monitoramento proposto, cujos resultados são apresentados na Tabela 23. É possível observar que 9 dos 10 casos analisados apresentaram déficit financeiro para custear as ações de monitoramento necessárias à vigilância da água para consumo humano, constatando-se as limitações na capacidade de financiamento dos atuais modelos de gestão presentes nas comunidades.

Tabela 23 – Custos de implementação dos planos de monitoramento

SAA/SAC	Custo anual de mobilização (R$)	Custo anual das análises (R$)	Custo total anual do monitoramento (R$)	Custo por ligação ativa mensal (R$)	Tarifa com adicional de monitoramento (R$)	Comprometimento da tarifa atual (%)	Receita anual disponível para o monitoramento (R$)*	Superávit ou déficit (R$)
Lagoa dos Encantos	33.600	32.356	R$ 65.956,00	8,42	32,85	34,45	120.909,48	54.953,48
Lagoa do Juá	33.600	26.428	R$ 60.028,00	116,33	136,76	569,42	7.961,88	- 52.066,12
Venâncio	33.600	26.030	R$ 59.630,00	62,11	82,24	308,57	14.812,80	- 44.817,20
Cantinho	33.600	62.652	R$ 96.252,00	-	0,00	0,00	0,00	- 96.252,00
Carrapateira	33.600	25.982	R$ 59.582,00	16,77	39,48	73,86	54.025,92	- 5.556,08
Realejo	33.600	45.170	R$ 78.770,00	15,63	33,84	85,83	76.658,40	- 2.111,60
Santo Antônio	43.200	25.982	R$ 69.182,00	72,06	90,95	381,50	15.734,40	- 53.447,60
Calumbi	43.200	38.774	R$ 81.974,00	71,91	94,71	315,38	18.684,60	- 63.289,40
Acarape	64.800	32.378	R$ 97.178,00	17,88	37,59	90,70	82.681,56	- 14.496,44
Taboca	64.800	32.378	R$ 97.178,00	48,20	74,41	183,91	30.663,36	- 66.514,64

* A receita considerada refere-se exclusivamente à arrecadação proveniente da tarifa de consumo de água, não incluindo as taxas destinadas à remuneração do operador e à administração do sistema.

Fonte: Própria autora (2025).

Os custos anuais totais de monitoramento variaram entre R$ 59.582,00, no SAA Carrapateira em Crateús/CE, e R$ 97.178,00, nos sistemas de Acarape e Tabocas em Tianguá/CE. Em alguns sistemas, os custos de mobilização para coleta e transporte das amostras superaram os custos laboratoriais, indicando a relevância dos aspectos logísticos para a implementação do monitoramento em comunidades rurais dispersas.

A implementação de um programa abrangente de monitoramento da qualidade da água demanda recursos financeiros expressivos, os quais podem representar um desafio para a estrutura tarifária e a sustentabilidade financeira no abastecimento rural. O SAA Lagoa do Juá, que possui apenas 43 ligações ativas, apresentou déficit financeiro de R$ 52.066,12 quando considerados os valores tarifários atualmente praticados. Ademais, o custo mensal de monitoramento por ligação ativa foi estimado em R$ 116,33, o maior entre os serviços avaliados. Em contrapartida, o SAA Lagoa dos Encantos, pertencente ao mesmo prestador de serviço e atendendo 653 ligações ativas, apresentou maior capacidade de diluição dos custos fixos associados ao monitoramento, resultando em custo mensal por ligação de apenas R$ 8,42 e superávit de R$ 54.953,48. Esse resultado consolida a influência do porte do sistema sobre sua sustentabilidade financeira e sugere que sistemas maiores podem contribuir para a viabilização econômica de sistemas deficitários por meio de mecanismos de subsídio cruzado no âmbito do mesmo prestador de serviço.

Quanto ao comprometimento tarifário, observou-se aumento da tarifa de consumo necessária para custear as ações de monitoramento em todos os sistemas. Entretanto, o SAA Lagoa dos Encantos, de maior porte, apresentou comprometimento de apenas 34,45%, enquanto os demais sistemas registraram percentuais mais elevados. Ou seja, a receita gerada pela estrutura tarifária atual desses sistemas é insuficiente para financiar integralmente as atividades de monitoramento da qualidade da água propostas e necessárias. Destaca-se que, a ausência de estrutura tarifária para o SAC Cantinho impossibilita o financiamento das ações de monitoramento, tornando indispensável a captação de recursos externos para garantir a vigilância da qualidade da água preconizada pela portaria de potabilidade e demais normativos.

Alternativas tecnológicas podem contribuir para a redução dos custos associados ao monitoramento nas áreas rurais. Lacerda (2024) demonstrou que modelos de aprendizado de máquina para predição da presença de coliformes totais e *E. coli* foram capazes de identificar corretamente mais de 94,0% das amostras contaminadas. Segundo o autor, a aplicação desses modelos pode reduzir o tempo de obtenção dos resultados microbiológicos para valores

próximos de zero e gerar economia anual superior a três milhões de reais nas atividades de controle e vigilância da qualidade da água do país, evidenciando o potencial da automação para ampliar a eficiência e a sustentabilidade dos programas de monitoramento.

A análise financeira dos planos de monitoramento elaborados de acordo com as necessidades das comunidades rurais do Ceará mostra que são necessárias buscas por tecnologias e, paralelamente, uso de subsídios cruzados entre sistemas de diferentes portes e mecanismos de financiamento, além de estratégias de compartilhamento de responsabilidades entre os diversos envolvidos na gestão do abastecimento de água, tanto no monitoramento da qualidade da água bruta quanto da água tratada.

5.4 Estruturação do modelo conceitual final

O modelo conceitual proposto busca apoiar a tomada de decisão dos prestadores de serviço e dos demais órgãos e atores envolvidos na gestão do abastecimento rural, fornecendo diretrizes para caracterização do SAA/SAC, definição de parâmetros prioritários, elaboração de plano de monitoramento e análise técnica para implementação. A estrutura conceitual resultante é apresentada na Figura 33.

As entradas do modelo reúnem as informações necessárias para caracterizar o SAA/SAC, identificar suas fragilidades e definir o contexto de aplicação do modelo. Inicialmente, são considerados os aspectos operacionais, logísticos e estruturais do sistema ou solução, incluindo a modalidade de abastecimento (SAA ou SAC), o tipo de manancial, o modelo de gestão e o uso e ocupação do solo que pode auxiliar na identificação dos perigos existentes no território da comunidade. Em seguida, são integradas informações provenientes dos prestadores de serviço, dos registros do Sisagua, dos PSAs, da identificação dos perigos e da avaliação dos riscos, podendo também ser utilizados estudos técnicos e pesquisas desenvolvidos na área de aplicação. Por fim, o arcabouço normativo fornece as diretrizes técnicas e legais que orientam a caracterização, considerando a legislação vigente sobre a qualidade da água para consumo humano e as resoluções do Conama aplicáveis aos mananciais. A segunda etapa corresponde à priorização dos parâmetros por meio do método AHP, podendo também ser realizada com o auxílio de outros métodos multicritério de apoio à decisão, como a árvore de decisão, matriz de riscos, brainstorming, entre outros. Após a definição do contexto de aplicação do modelo na etapa anterior, os grupos de parâmetros são hierarquizados considerando os critérios de potabilidade e impacto na saúde pública, viabilidade técnica e operacional e custos financeiros. Essa abordagem permite selecionar os parâmetros mais

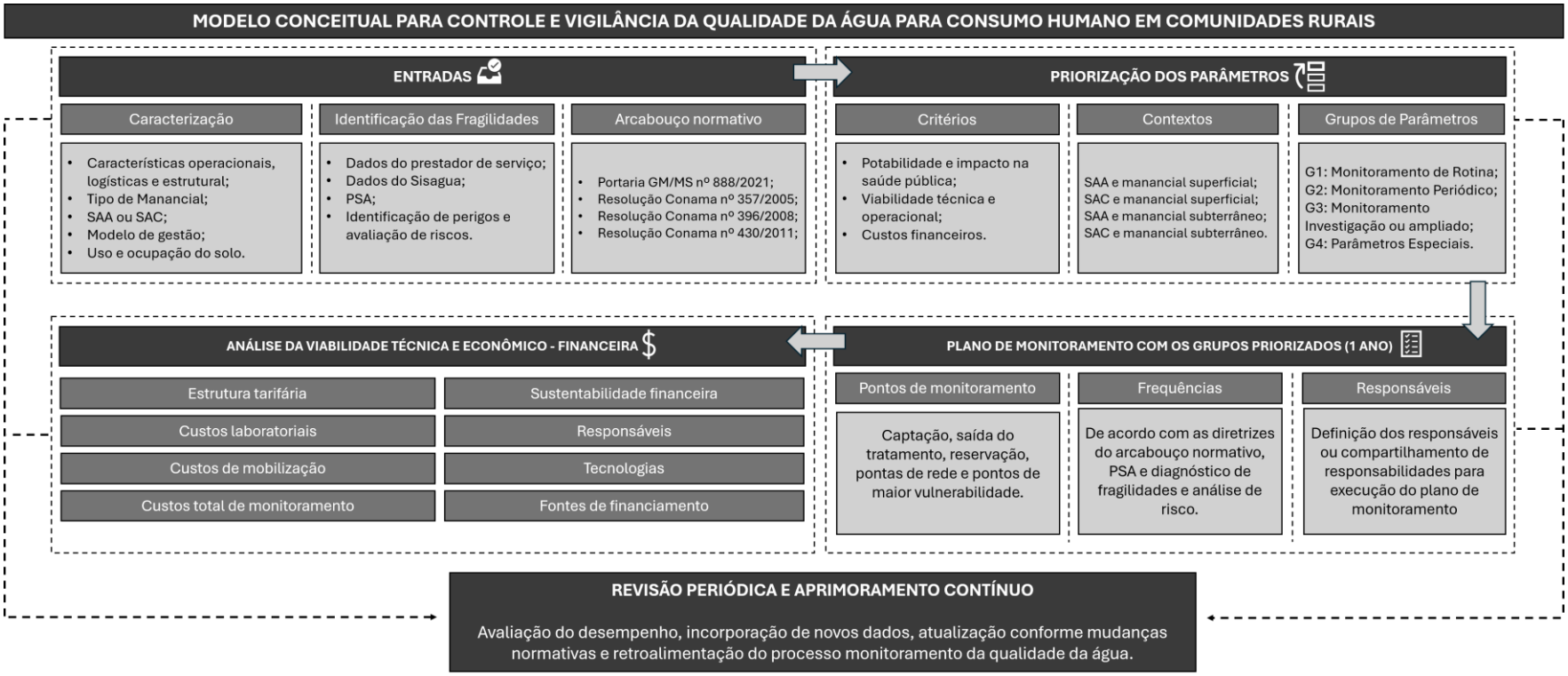
relevantes para cada contexto de abastecimento, devendo seus resultados ser complementados pela análise dos perigos e riscos e com participação dos diferentes envolvidos no abastecimento de água, de modo a subsidiar uma tomada de decisão mais consistente e adequada à realidade local.

Os grupos de parâmetros priorizados constituem a base para a elaboração dos planos de monitoramento, que devem apresentar os pontos de coleta, as frequências de monitoramento e os responsáveis pela execução das atividades para um horizonte de um ano. A definição dos pontos contempla locais estratégicos, incluindo captação, saída do tratamento, reservação, pontas de rede e pontos de maior vulnerabilidade, em conformidade com as diretrizes estabelecidas na portaria de potabilidade e nos PSAs. As frequências de monitoramento são estabelecidas de acordo com os requisitos normativos, os resultados da análise de fragilidades e a avaliação dos riscos identificados, permitindo adequar o monitoramento às características de cada sistema.

Por fim, a análise da viabilidade técnica e econômico-financeira para implementação do plano, que considera a estrutura tarifária dos prestadores de serviço, os custos laboratoriais, os custos de mobilização execução do plano, o custo total anual do monitoramento, as tecnologias disponíveis, as responsabilidades institucionais e as possíveis fontes de financiamento. A partir dessas informações será possível verificar o comprometimento tarifário, identificar situações de superávit ou déficit financeiro e subsidiar a definição de estratégias que viabilizem a execução das ações propostas.

É necessário prever a revisão periódica do modelo, de modo a permitir sua atualização conforme avaliação do desempenho, incorporação de novos dados, atualização conforme mudanças normativas e retroalimentação do processo de monitoramento da qualidade da água. Dessa forma, o modelo deixa de representar um procedimento estático e passa a constituir uma ferramenta dinâmica de apoio ao controle e vigilância da qualidade da água, passível de atualização contínua conforme a evolução dos riscos e das condições de operação dos sistemas.

Figura 33 – Estrutura do modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água em comunidades rurais



Fonte: Própria autora (2026).

6 CONCLUSÕES

O atendimento à Portaria GM/MS nº 888/2021 pelos serviços de abastecimento rural avaliados ocorreu de forma heterogênea entre os municípios e comunidades do Ceará. Embora os parâmetros físico-químicos e microbiológicos monitorados tenham apresentado conformidade, foram identificadas fragilidades relacionadas à disponibilidade, à frequência e à continuidade dos registros no Sisagua. Entre os principais resultados, destacaram-se a dificuldade de manutenção de concentrações adequadas de CRL na rede de distribuição e a ocorrência de nitrato na água bruta dos mananciais subterrâneos devido ao uso e ocupação do solo. Concluiu-se, portanto, que a avaliação da conformidade da qualidade da água não depende exclusivamente do atendimento aos padrões de potabilidade, mas também da execução contínua, representativa e contextualizada das ações de controle e vigilância.

Destaca-se, ainda, a importância do monitoramento do uso e presença de agrotóxicos e fertilizantes, considerando os riscos potenciais à saúde da população decorrentes da contaminação dos mananciais utilizados para abastecimento. Além do monitoramento da qualidade da água, ressalta-se a necessidade do manejo adequado desses produtos nas atividades agrícolas, como medida preventiva para reduzir os riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) mostrou-se adequado para a priorização dos parâmetros, permitindo estabelecer estratégias de monitoramento adaptadas aos diferentes contextos de abastecimento rural. Os parâmetros do grupo G1 permaneceram prioritários em todos os cenários avaliados, em razão de sua elevada relevância para a proteção da saúde pública e de sua compatibilidade com a capacidade técnica, operacional e financeira dos prestadores de serviço. Os grupos G2, G3 e G4 desempenham funções complementares no monitoramento, sendo incorporados conforme as características do uso e ocupação do solo, a qualidade dos mananciais e os perigos e riscos identificados.

A viabilidade técnica e econômico-financeira da implementação dos planos de monitoramento elaborados varia conforme o porte dos SAAs e SAC. Os sistemas de menor porte apresentaram maior comprometimento tarifário pelos custos das análises laboratoriais e de mobilização, comprometendo sua sustentabilidade financeira. Para o SAC Cantinho, onde não há cobrança pelos serviços de abastecimento, não há viabilidade para manter as ações de monitoramento sem a disponibilidade de recursos financeiros. Nesse contexto, a análise

mostrou a necessidade da adoção de subsídios cruzados entre sistemas de maior e menor porte, a exemplo dos SAAs Lagoa dos Encantos e Lagoa do Juá, bem como da busca por tecnologias de monitoramento e fontes de financiamento que viabilizem a execução contínua das ações de controle e vigilância da qualidade da água.

Conclui-se que o modelo conceitual estruturado demonstrou a possibilidade de adaptar as estratégias de monitoramento aos diferentes cenários do abastecimento rural, considerando simultaneamente os riscos à saúde pública, as características dos sistemas e soluções de abastecimento e a capacidade operacional e financeira dos prestadores de serviço. Além disso, evidenciou a importância da integração entre o arcabouço normativo aplicável à qualidade da água, a análise de riscos e os PSAs como elementos norteadores na definição das diretrizes dos planos.

O modelo constitui uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para gestores, prestadores de serviço e órgãos responsáveis pelo controle e vigilância da qualidade da água, favorecendo a implementação de estratégias de monitoramento mais contextualizadas, financeiramente sustentáveis e baseadas na atuação integrada dos diferentes atores. Como limitação identificada na elaboração do modelo, concluiu-se que sua efetividade depende da disponibilidade de informações confiáveis e atualizadas. Entretanto, observou-se que a disponibilidade e a continuidade desses dados ainda constituem uma limitação recorrente nos sistemas de informação utilizados no país, principalmente no âmbito das áreas rurais.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a aplicação do modelo em outras regiões do Brasil, com as adaptações necessárias às características dos diferentes serviços de abastecimento, de modo a ampliar sua validação em distintos contextos. Em aplicações futuras, sugere-se adotar uma abordagem qualitativa, por meio de entrevistas semiestruturadas com operadores, usuários e lideranças comunitárias, permitindo agregar as percepções e experiências locais às informações utilizadas pelo modelo. Essa abordagem também poderá contribuir para a análise da governança dos serviços, contemplando a participação dos diferentes atores, a articulação institucional e a definição de responsabilidades nas ações relacionadas à qualidade da água.

Recomenda-se, ainda, o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que auxilie na aplicação do modelo e na sistematização das informações, bem como a incorporação de novas tecnologias de monitoramento capazes de otimizar os planos, aprimorar o registro das informações utilizadas em sua revisão periódica e reduzir os custos de implementação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESBE. **Saneamento Rural: Proposta de recomendação da AESB a seus associados. Série Universalizar**. Volume 6. 2013.

ÁFRICA DO SUL. **Water Services Act (WSA)**. Government Printer, 1997

ÁFRICA DO SUL. **National Water Act (NWA)**. Government Printer, 1998.

ÁFRICA DO SUL. **Water Services Act (WSA)**. Government Printer, 2024

ALMEIDA, A. W. B. de. **Nova Cartografia Social: territorialidades específicas e politização da consciência das fronteiras.** Povos e Comunidades Tradicionais**.** Manaus: PNCSA/UEA, 2013. p.157-173.

ARAÚJO, M. C. S. P. **Indicadores de vigilância da qualidade da água de abastecimento da cidade de Areia (PB)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina. Campina Grande/PB. 2010.

BANCO MUNDIAL. **Estudo de modelos de gestão de serviços de abastecimento de água no meio rural no Brasil (Parte 1).** Brasília, 2016.

BARACHO, R. O.; SCALIZE, P. S. **Challenges and facilitating factors to implement Water Safety Plans: a systematic review**. Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 17, p. 1-22, 2023.

BARBOSA, P. A. ; COSTA, J. P. da S.; OLIVEIRA, S. E. D. de; PASTICH, E. A. **Análise da qualidade da água de poços artesianos em zona rural do semiárido de Pernambuco.** Revista de Geociências do Nordeste**.** v. 11, n.1, p. 936-954, 2025.

BASTOS, R. K. X.; OLIVEIRA, D. C. de; NASCIMENTO, L. E. **Avaliação dos custos do controle de qualidade da água para consumo humano em serviços municipais de saneamento**. Brasília: Assemae, 2007.

BASTOS, R. K. X. **A norma brasileira de qualidade da água para consumo humano em revisão - um convite à reflexão sob a ótica dos direitos**. 2020.

BATISTA, G. de S. **Modelagem do decaimento de cloro residual livre em redes de distribuição de água de comunidades rurais por meio de redes neurais artificiais.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB. 2024.

Bureau of Indian Standards. **IS 10500:2012 - Drinking water — specification**. 2a Ed. BIS 2011.

Bureau of Indian Standards. **IS 10500:2012 - Drinking water — specification**. BIS 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 56, de 14 de março de 1977. **Normas e padrão de potabilidade da água a serem observados em território nacional.** Brasília, 1977.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Brasília, 1981.

BRASIL. **Programa Nacional de Saneamento Rural.** Versão preliminar elaborada em dezembro de 1987. Brasília, DF: Instituto de Planejamento Econômico e Social, 1987.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. 28 set. 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2011.

BRASIL. **Plano de segurança da água: garantindo a qualidade e promovendo a saúde: um olhar do SUS.** Brasília: Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador, 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. **PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico. Plano Nacional de Saneamento Básico: mais saúde com qualidade de vida e cidadania.** Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério da saúde. Consolidação da Portaria nº 5, de 28 de dezembro de 2017. **Dispõe sobre a Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural. Diretrizes e estratégias.** Brasília: Funasa, 2019.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências.** Brasília, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. **Dispõe sobre procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília, 2021a.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria nº 2.472, de 28 de setembro 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. Brasília, 2021b.

BRASIL, Decreto nº 11.599, de 12 de julho de 2023**. Dispõe sobre a prestação regionalizada dos serviços públicos de saneamento básico, o apoio técnico e financeiro de que trata o art. 13 da Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, a alocação de recursos públicos federais e os financiamentos com recursos da União ou geridos ou operados por órgãos ou entidades da União de que trata o art. 50 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Brasília, 2023.

CASTRO, L. A.; TELEIRES, F. C. de S.; SILVEIRA, S. S. **Índice de desenvolvimento humano em municípios que possuem sistema integrado de saneamento rural: uma análise comparativa.** Ciência e Saúde Coletiva, v. 26, n. 1, p. 351-357. 2021.

CEARÁ. **Cenário atual do saneamento básico no Ceará**. Ceará: INESP, 2021.

CENTRAL. **Central de Associações Comunitárias para Manutenção dos Sistemas de Saneamento.** Disponível em: https://www.centraldeassociacoes.com.br/a-central.

CETESB, Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo**. **Apêndice A. Significado Ambiental e Sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo: CETESB; 2008.

CHINA. **Standard for drinking water quality (GB 5749-2006)**. Ministry of Health, People's Republic of China, 2006

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.** Brasília, DF.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Alterada pela Resolução nº 410 de 04 de maio de 2009 e pela 430 de 13 de maio de 2011, do CONAMA. Brasília, DF.

CORDÃO, M. J. de S. **Gestão multiescala para sistemas urbanos sustentáveis de abastecimento de água.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB. 2021.

CORRÊA, R. F. M. **Elaboração de modelo conceitual para monitoramento de riscos à contaminação da água em comunidades rurais.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos/PB. 2020.

CORRÊA, R. F. M; K. S., VENTURA. **Plano de Segurança da Água: modelo conceitual para monitoramento de riscos à contaminação de água em comunidades rurais.** Revista

Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n.2, p. 369-379, 2021.

CORRÊA, R. F. M; . **Identification of potential hazards in rural alternative collective water supply solutions for the preparation of Water Safety Plans: an adaptation proposal**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 29, p. 1-6, 2024

CRUZ, B. A. de S. **Acesso à água na perspectiva dos direitos humanos: Análise dos efeitos de uma intervenção do Sisar na comunidade Cristais, Ceará.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2019.

CUNHA, L. H. **Desigualdades nos padrões de acesso à água e limites da cidadania hídrica em comunidades rurais do semiárido.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 55, p. 99–116. 2020.

EMBASA. Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. **Tabela de Referência de Preços – Data base 2025.** Disponível em: https://www.embasa.ba.gov.br/2025.1.

FAGUNDES, I. C.; MARQUES, G. F. **Identification of potential hazards in rural alternative collective water supply solutions for the preparation of Water Safety Plans: an adaptation proposal**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 29, p. 1-6, 2024

FARIAS, F. de F.; GALVÃO, M. E. da S. **A qualidade da água para consume humano em escolas da zona rural do município de Humaitá-AM**. Meio ambiente: Agricultura, desenvolvimento e sustentabilidade 2, 2023.

FELTMAN, C. dos S (org.). **Vigilância da qualidade da água para consumo humano.** Rio de Janeiro: Coordenação de Desenvolvimento Educacional e Educação a Distância/Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca/Fiocruz, 2022.

FERREIRA, J. G.; GOMES, M. F. B.; DANTAS, M. W. de A. **Desafios e controvérsias do novo marco legal do saneamento básico no Brasil.** Brazilian Journou of Development. v. 7, n. 7, p. 65559-65468. 2021.

FOGLIATTO, F. S.; ALBIN, S. L. **An AHP-based procedure for sensory data colletion and analysis in quality and reliability applications.** Food Quality and Preference. v. 14, p. 375 – 385. 2003.

FONTANA, F. E. **Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe**. Washington, DC: Organización Panamericana de la Salud, 1995. 227 p.

FORTES, A. C. C., BARROCAS, P. R. G.; KLIGERMAN, D. C. **A vigilância da qualidade da água e o papel da informação na garantia do acesso.** Saúde em Debate, v. 43, n. 3, p. 20-34, 2019. Número especial. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0103-11042019S302.

FRANÇA, L. R. C; SOUSA, A. F. N. de; BATISTA, G. de S.; CUNHA, P. H; CARNEIRO, D. Q. **Vigilância da qualidade da água para consumo humano nos sistemas de abastecimento**

de água e soluções coletivas em comunidades rurais do estado do Ceará. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais. Belo Horizonte: ABES, 2023.

FUNASA. **Manual de implementação de Saneamento.** Fundação Nacional de Saúde. Brasília. 408 p. 2004.

FUNASA. **Manual de controle da qualidade de água para técnicos que trabalham em ETAs.** 1. ed. Brasília: FUNASA. 168 p. 2014.

FUNASA. **Manual da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades utilizando filtro e dosador desenvolvidos pela Funasa**/ Superintendência Estadual do Pará. Brasilia: FUNASA, 2017. v. 49

FUNASA. Ministério da Saúde. **Fundação Nacional de Saúde. Termo de Referência para elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico**. 187 p. Brasília: Funasa, 2018.

FUNASA e UFCG. **Produto 02 – Relatório Preparatório. Campina Grande.** 2022

FUNASA e UFCG. **Produto 03 – Diagnósticos SAA/SAC. Campina Grande.** 2023

FUNASA; UFCG. **Termo de Referência – Elaboração de Planos de Segurança da Água em Áreas Rurais**. Campina Grande. 2024

GOMES, M. da C. R. **Qualidade das águas subterrâneas e superficiais no Campus Universitário do Pici (Fortaleza, Ceará).** Monografia (Graduação). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2006

GOMES, U.A.F; HELLER, L.; **Acesso à água proporcionado pelo Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais: combate à seca ou ruptura da vulnerabilidade?** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental; v.21 n.3; jul/set 2016, p. 623-633

GRIGOLETTO, J. C.; SOARES, A. P; NETTO, A. T; ANDRADE, R. C. **Diagnóstico da qualidade da água para consumo humano em estabelecimentos de saúde localizados em áreas rurais do Brasil.** Revista de Gestão de Água da América Latina. v. 21, n. 12, 2024.

GUPTA, H. V.; CLARK, M. P.; VRUGT, J. A. ; ABRAMOWITZ, G. ; YE, M. **Towards a comprehensive assessment of modelstructural adequacy.** Water Resources Research. v. 48, n. 8, 2012.

HAGGERTY, J. H.; DUNN, J.; GANSAUER, G.; EWING, S.; METCALF, E. **Social memory and infrastructure governance: a century in the life of a rural drinking water system**. Environmental Research: Infrastructure and sustainability. 2021.

HALSETH, G.; MARKEY, S.; RYSER, L. **Service Provision and Rural Sustainability: Infrastructure and Innovation**. Routledge. New York, 2019.

HELLER, L. **Saneamento e Saúde**. Brasília, DF: OPAS; 1997.

HERNÁNDEZ, R. B.; CARRASCAL, M.; ABAIN, J.; MICHALKE, B.; FARINA, M.; GONZALEZ, Y. R.; IYIRHIARO, G. O.; MOTESCHAREIE, H.; BURNSIDE, D.; GOLSHANI, A.; SUÑOL, C. **Manganese-induced neurotoxicity in cerebellar granule neurons due to disruption of cellular pathways with potential implications for neurodegenerative disorders**. Metalomics, v. 12, n. 11, p. 1656-1678, 2020.

HIRATA, R. et al. **Nitrate Contamination in Brazilian Urban Aquifers: A Tenacious Problem.** Water, v. 12, n. 2709, p. 1-20, 2020.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do Censo Demográfico**. 2010.

IBGE**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do Censo Demográfico - Localidades.** 2022.

INSTITUTO SISAR. **Sistema Integrado de Saneamento Rural.** Disponível em: https://sisar.org.br/.

LACERDA, M. C. **Aprendizado de máquina aplicado à predição da ocorrência de coliformes totais e Escherichia coli em reservatórios de abastecimento de água. Dissertação (Mestrado).** Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB. 2024.

LACERDA, M. C.; BATISTA, G. de S.; SOUSA, A. F. N.; LACERDA, I. L. C., ALMEIDA, M. N. de V.; CUNHA, P. H.; ARAÚJO, M. M. C.; RODRIGUES, A. C. L. **Correlação entre a ocorrência de doenças diarreicas agudas e os dados de vigilância da qualidade de água para consumo humano no Brasil.** Revista Caderno Pedagógico, v. 21, n. 3, p. 01-27. 2024.

MARONEZE, M. M., ZEPKA, L. Q., VIEIRA, J. G., QUEIROZ, M. I., & JACOB-LOPES, E. **A. Tecnologia de remoção de fósforo: gerenciamento do elemento em resíduos industriais.** Revista Ambiente & Água, v. 9, n. 3, p. 445-458. 2014

MATA, R. N. **Avaliação do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), Brasil, 2014-2020.** Tese (Doutorado). Universidade de Brasília. Brasília/DF. 2022.

MATTA, M. A. S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pará. Belém/PA. 2002.

NASERI, I.; YENGEJEH, R. J.; VERIJKAZEMI, K.; CHERAGHI, M. **Study of Risks in**

Rural Water Supply Systems of Khorramshahr City, Iran, Based on Water Safety Plan. Journal of Advances in Environmental Health Research, v. 10, n. 1, p. 47-58, 2022.

NAT WATER. **Drinking Water and the law**. v. 2. 2024

National Health and Medical Research Council (NHMRC). **Australian Drinking Water Guidelines.** Australian Government 2011.

National Health and Medical Research Council (NHMRC). **Australian Drinking Water Guidelines**. Updated. Australian Government 2022.

OLIVEIRA, K. C.; BASTOS, R. K. X.; SILVA, C. V. DA. **Esporos de bactérias aeróbias são bons indicadores da eficiência do tratamento de água? Um estudo exploratório**. Eng Sanit Ambient, v. 23, n. 6, p. 1103–1109, 2018.

OLIVEIRA, P. A. D. de; MACHADO, A. V. M; NOGUEIRA, L. T.; NOGUEIRA, M. T.; SANTOS, J. A. N. dos. **O desafio de garantir os direitos Humanos à Água em comunidades rurais do Brasil.** Brazilian Journals of Business. v.2, n.3; p. 2343-2349. 2020.

OLIVEIRA, I. de O. **Ocorrência de nitrati em poços artesianos de assentamentos rurais no município de Mirante do Paranapanema, Estado de São Paulo - Brasil.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente/SP. 2024.

OPAS. **Manual Simplificado para el Desarrollo de Planes de Seguridad del Agua (PSA) en Pequeñas Comunidades**. 2012. 50 p.

PANIS, C.; CANDIOTTO, L. Z. P.; GABOARDI, S. C.; GURZENDA, S.; CRUZ, J. CASTRO, M.; LEMOS, B. **Widespread pesticide contamination of drinking water and impact on cancer risk in Brazil**. Environment International. 2022.

PANIS, C.; CANDIOTTO, L. Z. P.; GABOARDI, S. C.; KAWASSAKI, A. C. B.; DIAS, E. C. M.; TEIXEIRA, G. T.; SILVA, D. R. P. da; RECH, D.; CANDIOTTO, L. Z. P. **Characterization of occupational exposure to pesticides and its impact on the health of rural women.** Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada. 2021.

PAULINO, C. de M.; BELOTTI, L.; AZEVEDO, K. Z. de; FRAZÃO, P**. Cobertura dos dados de fluoreto em sistemas de abastecimento de água usando o software R.** Revista de Saúde Pública. 2022.

PINTO, V. G. **Análise comparativa de legislações relativas à qualidade da água para consumo humano na América do Sul**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

QU, W.; Zheng, W.; Wang, S.; Wang, Y. **China's new national standard for drinking water takes effect.** The Lancet**,** v. 380, n. 9853. 2012

QUEIROZ, D. T. do N; FRANCO, G. B; MARQUES, E. A. G... **Diagnóstico dos modelos de gestão dos serviços de abastecimento de água nas localidades rurais de Biritinga (BA).** Revista Caminhos da Geografia, v. 24, n. 91, p. 86 - 98. 2023.

RAID, M. A. DE M. **Soluções técnicas de abastecimento de água e modelos de gestão: um estudo em quinze localidades rurais brasileiras**. 2017.

RAID, M. A. HELLER, L; MOURA, P. M.; GOMES, U. A. F. **Modelos de prestação de serviços de abastecimento de água para comunidades rurais do Brasil: uma avaliação comparativa pelo método Analytic Hierarchy Process.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 27, n. 4, p. 795–803. 2022.

REZENDE, S.; HELLER, L. **O saneamento no Brasil: políticas e interfaces.** 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. 387 p

ROCHA, C. M. B. M.; RODRIGUES, L. S.; COSTA, C. C.; OLIVEIRA, P. R.; SILVA, I. J.; JESUS, E. F. M.; ROLIM, E. G. **Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000**. Caderno Saúde Pública, v. 22, n. 9, p. 1967-1978, 2006.

RODRIGUES, E. A. M. **Avaliação de impacto e de sustentabilidade financeira para política pública de saneamento rural do estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru/PE. 2022.

ROLAND, N., HELLER, L., & LIMA, S. **A entrada na agenda brasileira do Projeto Nacional de Saneamento Rural (1985).** Brazilian Journal of Public Administration, 2020 54(6), 1654-1671.

ROLAND, N.; REZENDE, S; HELLER, L. **Fatores condicionantes da adoção do tipo de prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário: um estudo de oito municípios de Minas Gerais.** Revista AIDIS. v.13, n. 1, p. 66-83. 2020.

ROLAND, N.; TRIBST, C. de C. L; SENNA, D. A.; SANTOS, M. R. R.; REZENDE, S. **A ruralidade como condicionante da adoção de soluções de saneamento básico.** Revista DAE, v. 67, n. 220, São Pauulo/SP. p. 15-35. 2022.

ROZA, M. X. T. T. de; ARAUJO, J. A. **Modelos associativistas de gestão de saneamento rural.** Revista de Economia Regional Urbana e do Trabalho. V.9, n.1, p. 125 – 149. 2020.

SAATY, T.L. **Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.** MCGraw-Hill, New York, NY, USA. 1990.

SANTOS, G. R.; SANTANA, A. S. **Gestão Comunitária da Água: Soluções e Dificuldades do Saneamento Rural no Brasil.** 2020.

SANTOS, G. S. dos; PAES, T. A. S. V.; PESSOA, T. B. A. dos. **Qualidade da água de**

consumo de comunidades rurais do Vale do Jiquiriçá (Bahia): análise microbiológica e percepção dos indivíduos. Revista Brasileira de Meio Ambiente. v. 11, n. 2, p. 2-16. 2023.

SANTOS, R. C.; SILVA, R. A. da; SANTOS, M. M. dos; BAVO, A. B.; SILVA, A. F. da. **Assessing nitrate contamination in groundwater for public supply: A study in a small Brazilian town. Groundwater for Sustainable Development**. v. 25, n. 1, 2024.

SCHEFFLER, J.; BISOGNIN, R. P.; SILVA, D. M. da; WEBER, F. H. **Qualidade das águas subterrâneas de consumo humano em comunidades rurais no noroeste do Rio Grande do Sul.** Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental. v. 11, n. 1, p. 72-92. 2022.

SCORSAFAVA, M. A.; SOUZA, A.; STOFER, M.; NUNES, C. A.; MILANEZ, T. V. **Avaliação físico-química da qualidade de água de poços e minas destinada ao consumo humano**. Revista Instituto Adolfo Lutz, v. 69, n. 2, p. 229-232, 2010.

SILVA, A. L. da C.; SANTOS, R. N. E. S. **Vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero da Ilha de Colares (PA): subsídios para a gestão dos recursos hídricos.** Research, Society and Development, v. 11, n.6, 2022.

SILVA, B. B.; NOGUEIRA, C, D.; ANDRADE, M.; SILVEIRA, R. B., REZENDE, S. **Evidenciando experiências positivas em saneamento básico: visões do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR).** Revista DAE. v. 67, n. 220. p. 69 – 86. 2019.

SILVA, D. D. D., MIGLIORINI, R. B., SILVA, E. D. C., LIMA, Z. M. D., & MOURA, I. B. D. **Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT).** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 19, n. 1, p. 43-52. 2014.

SIQUEIRA, C. G. de; LIMA, T. M.; SANTOS, M. dos. **Potabilidade da água de poços artesianos em comunidades rurais do agreste sergipano.** Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Estudos de Caso e Notas Técnicas. 2022.

SINISA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.** Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Brasília. 2024.

SODRÉ, J. F. A. **Gestão comunitária da prestação dos serviços públicos de abastecimento de água na área rural: um estudo sobre as fragilidades e potencialidades a partir da experiência de Brotas de Macaúbas - BA.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia. Salvador/BA. 2019.

SOUSA, L. S. D. M.; SOUZA, F. F. G.; HENRIQUES, J. A. **Qualidade da água do sistema de abastecimento numa comunidade rural do município de pequeno porte no Sudeste do Brasil.** Braz. J. Aquat. Sci. Technol. v. 26, n. 1. p. 59 – 64. 2022.

SOUSA, B. F. B. **Análise Multicritério da vulnerabilidade do serviço de abastecimento urbano de água em município de pequeno porte. Dissertação (Mestrado).** Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB. 2023.

SOUSA, A. F. N. **Modelo de análise de risco aplicado a planos de segurança da água para consumo humano em comunidades rurais. Dissertação (Mestrado).** Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB. 2024.

SOUZA, A. R.; MOREIRA, A. A.; CONDÉ, N. M.; CARVALHO, W. B.; CARVALHO, C. V. M. **Análise das condições de potabilidade das águas de urgências em Ubá**, MG. Revista Ambiente e Água. v. 10, n. 3. p. 614 – 622. 2015.

SOUZA, F. P. de. **Qualidade da água para potabilidade: Análise de risco sanitério e seus impactos na saúde pública.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Pombal/PB. 2023.

SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS. **South African National Standard (SANS) 241:2015: Drinking Water Quality**. SABS, 2015.

STEFFLER, T. L. S.; SOARES, M. B. D.; MEDEIROS, R. C. **Proposta de elaboração de Plano de Segurança da água para comunidade rural: um estudo de caso.** Revista DAE, v. 73, n. 250. 2025.

TORQUATO, A. L. **Existe segurança microbiológica na portaria de potabilidade GM/MS 888/2021 nas condições da região semiárida do Brasil.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB. 2022.

TINOCO, M. A. C; RIBEIRO, J. L. D. **Estudo qualitativo dos principais atributos que determinam a percepção de qualidade e de preço dos consumidores de restaurantes a *la carte*.** Gestão e Produção, v. 15, n. 1, p. 73 – 87, 2011.

TOSUN, J.; SCHERER, U.; SCHAUB, S.; HORN, HARALD. **Making Europe go from bottles to the tap: Political and societal attempts to induce behavioral change.** WIREs Water, v. 7, n. 3. 2022.

TRATA BRASIL. **Acesso à água nas regiões Norte e Nordeste do Brasil: desafios e perspectivas.** São Paulo, 2018.

UE. European Union. **Directive 98/83/EC of the Council of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption**. Official Journal of the European Communities, L 330, 5 Dec. 1998, pp. 32–54. Available at: https://eur-lex.europa.eu.

UE. European Union. **Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption**. Official Journal of the European Union, L 435, 23 Dec. 2020, pp. 1–62. Available at: https://eur-lex.europa.eu.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **The Safe Drinking Water Act**. 1996.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Understanding the Safe Drinking Water Act**. 2004.

VALADÃO, M. B; X.; RIBEIRO, F. P.; RODRIGUES, M. I.; GATTO, A. **Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente: como se encontram após 40 anos da promulgação?** Research, Society and Delelopment. v. 11, n. 3. 2022.

WYWROLL P. R.; MANERO A.; TAYLOR K. S.; ROSE E.; GRAFTON Q. R. **Measuring the gaps in drinking water quality and policy across regional and remote Australia**. Clean Water. 2022

WHO. World Health Organization. **Guidelines for Drinking Water Quality**. 2. ed. Geneva: WHO; 1993.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for Drinking Water Quality**. 3. ed. Geneva: WHO; 2004.

WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4o Edição ed. Geneva: World Health Organization, 2011.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for Drinking Water Quality**. 4. ed. Geneva: WHO; 2017.

WHO; UNICEF. **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene** – 2021. Update and SDG Baselines. World Health Organization. II. UNICEF, 2021.

WHO. World Health Organization. **A field guide to improving small drinking-water supplies: water safety planning for rural communities.** UNECE, 2022.

WHO. World Health Organization. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers.** Second edition. 2023.

APÊNDICE A

```
# ANÁLISE DE DADOS SISAGUA - PARTE 1 (FÍSICO-QUÍMICOS)
#--------------------------------------------------
# ETAPAS INICIAIS
#--------------------------------------------------

#Definir diretório de trabalho
setwd(choose.dir())
getwd()  # Verifica o diretório atual

# Carregar pacotes
library(tidyverse)
library(readxl)
library(janitor)
library(lubridate)
library(gt)
library(naniar)
library(haven)
library(dplyr)
library(writexl)
library(openxlsx)

#--------------------------------------------------
# ORGANIZAÇÃO E LIMPEZA DE DADOS
#--------------------------------------------------

# Importar o seu banco de dados
dados_calumbi_tratados <- readxl::read_excel("dados_calumbi_tratados.xlsx")


# Padronizar os nomes das colunas (retira espaços, acentos, etc.)
dados_taua_tratados1 <- dados_taua_brutos %>%
  janitor::clean_names()

# Filtrar pelo nome da comunidade
dados_calumbi_FQ <- dados_taua_tratados1 %>% filter(nome_da_forma_de_abastecimento %in% c("LOCALIDADE CALUMBI"))
dados_calumbi_FQ<- dados_calumbi_FQ %>% filter(ponto_de_coleta %in% c("TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO"))
dados_calumbi_FQ

# Filtrar por zona
dados_taua_tratados1 <- dados_taua_tratados1 %>% filter(zona_da_coleta == "Rural")

# Filtrar pelo parâmetro monitorado
dados_calumbi_FQ <- dados_calumbi_FQ %>% filter(parametro %in% c("Cloro Residual Livre", "Cor", "Turbidez"))
```

```
# Corrigir o formato da coluna de resultados (de texto para numérico)
# A coluna 'resultado_da_amostra' contém vírgulas.
dados_calumbi_FQ <- dados_taua_FQ%>%
  mutate(resultado_da_amostra = as.numeric(gsub(",", ".", resultado_da_amostra)))


# Padronização dos resultados de conlusão dos parâmetros
dados_calumbi_FQ <- dados_calumbi_FQ %>%
  mutate(
    conclusao_do_parametro = case_when(
      conclusao_do_parametro == "Fora da faixa recomendada" ~ "Fora do Padrão",
      TRUE ~ conclusao_do_parametro # Mantém os outros valores inalterados
    )
  )

# Supondo que seu dataframe limpo se chame 'dados_taua_tratados'
# e a coluna numérica 'resultado_da_amostra' já foi criada.

dados_calumbi_FQ <- dados_calumbi_FQ %>%
  mutate(
    conclusao_corrigida = case_when(

      # --- Regras explícitas para Cloro Residual Livre ---
      parametro == "Cloro Residual Livre" & (resultado_da_amostra >= 0.2 &
resultado_da_amostra <= 5) ~ "Dentro do Padrão",
      parametro == "Cloro Residual Livre" ~ "Fora do Padrão", # Qualquer outra coisa de
cloro está fora

      # --- Regra explícita para Turbidez ---
      parametro == "Turbidez" & resultado_da_amostra <= 5 ~ "Dentro do Padrão",
      parametro == "Turbidez" ~ "Fora do Padrão",

      # --- Regra explícita para Cor Aparente ---
      parametro == "Cor" & resultado_da_amostra <= 15 ~ "Dentro do Padrão",
      parametro == "Cor" ~ "Fora do Padrão",

      # --- Para TODOS os outros parâmetros ---
      TRUE ~ conclusao_do_parametro
    )
  )

#-----------------------------------------------------
# ANÁLISE ESTATÍSTICA
#-----------------------------------------------------

# Porcentagem de análise por zona de coleta
tabela_taua_zona <- dados_taua_tratados1 %>%
  count(zona_da_coleta, name = "numero_de_amostras") %>%
  mutate(porcentagem = (numero_de_amostras / sum(numero_de_amostras)) * 100)
```

```
# Mostra a tabela de resultados
View(tabela_porcentagem_zona)

# Calcular as estatísticas descritivas para cada parâmetro
tabela_descritiva_calumbi_FQ <- dados_calumbi_FQ %>%
  group_by(parametro) %>%
  summarise(
    media = mean(resultado_da_amostra, na.rm = TRUE),
    mediana = median(resultado_da_amostra, na.rm = TRUE),
    minimo = min(resultado_da_amostra, na.rm = TRUE),
    maximo = max(resultado_da_amostra, na.rm = TRUE),
    desvio_padrao = sd(resultado_da_amostra, na.rm = TRUE),
    n_amostras = n()
  )

# Exibir a tabela
View(tabela_descritiva_taua_FQ)

# Calcular a contagem e porcentagem de conformidade para cada parâmetro
tabela_inconformidade_calumbi_FQ <- dados_calumbi_FQ %>%
  count(parametro, conclusao_corrigida, name = "n") %>%
  group_by(parametro) %>%
  mutate(porcentagem = (n / sum(n)) * 100)

# Exibir a tabela
View(tabela_inconformidade_taua_FQ)

#---------------------------------------
# LEITURA E SALVAMENTO DOS RESULTADOS
#---------------------------------------

# 1. Salvar o dataframe limpo e filtrado
saveRDS(tabela_inconformidade_calumbi_FQ,
"tabela_inconformidade_calumbi_FQ.rds")

# Para ler depois:
dados_calumbi_tratados <- readRDS("dados_calumbi_tratados.rds")

# Exportar as tabelas de resultados para um arquivo Excel
# Crie uma lista com as tabelas que você gerou
lista_de_tabelas <- list(
  descritiva = tabela_descritiva_parametro_teste,
  inconformidade = tabela_inconformidade_parametro,
  outliers = tabela_outliers
)

# Exporte a lista para um arquivo Excel, onde cada tabela será uma aba
write_xlsx(lista_de_tabelas, "resultados_analise_complexo_calumbi.xlsx")

#
```

```
# ANÁLISE DE DADOS SISAGUA - PARTE 2 (MICROBIOLÓGICOS)
#-----------------------------------------------------
# ETAPAS INICIAIS
#-----------------------------------------------------

#Definir diretótio de trabalho
setwd(choose.dir())
getwd()  # Verifica o diretório atual

# Carregar pacotes
library(tidyverse)
library(readxl)
library(janitor)
library(lubridate)
library(gt)
library(naniar)
library(haven)
library(dplyr)
library(writexl)
library(openxlsx)

#-----------------------------------------------------
# ORGANIZAÇÃO E LIMPEZA DE DADOS
#-----------------------------------------------------

# Importar o seu banco de dados
dados_cantinho_MB <- readxl::read_excel("aracati_dados_brutos_2021_2023.xlsx")

# Padronizar os nomes das colunas (retira espaços, acentos, etc.)
dados_cantinho_MB <- dados_cantinho_MB %>%
  janitor::clean_names()

# Filtrar por zona
dados_cantinho_MB <- dados_cantinho_MB %>% filter(zona_da_coleta == "Rural")

# Filtrar pelo nome da comunidade
dados_cantinho_MB <- dados_cantinho_MB %>% filter(nome_da_forma_de_abastecimento %in% c("SITIO CANTINHO", "SITIO CANTINHO DE CIMA"))

# Filtrar pelo parâmetro monitorado
dados_cantinho_MB <- dados_cantinho_MB %>% filter(parametro %in% c("Coliformes Totais", "Escherichia Coli"))

# Criar uma nova coluna de conclusão confiável
# Vamos chamar de 'conclusao_confiavel' para não confundir com a original.
dados_cantinho_MB <- dados_cantinho_MB %>%
  mutate(conclusao_confiavel = case_when(
    resultado_da_amostra == "PRESENTE" ~ "Fora do Padrão",
    resultado_da_amostra == "AUSENTE"  ~ "Dentro do Padrão",
```

```
    TRUE                        ~ "Não aplicável" # Segurança para outros valores
  ))

#-----------------------------------------------------
# ANÁLISE DESCRITIVA
#-----------------------------------------------------

# Análise de Frequência usando a nossa coluna confiável
# O group_by(parametro) garante que a análise é feita separadamente para cada um.
tabela_descritiva_cantinho_MB <- dados_cantinho_MB %>%
  count(parametro, conclusao_confiavel, name = "n_amostras") %>%
  group_by(parametro) %>%
  mutate(porcentagem = (n_amostras / sum(n_amostras)) * 100) %>%
  ungroup()

View(tabela_descritiva_aracati_MB)

#---------------------------------------
# LEITURA E SALVAMENTO DOS RESULTADOS
#---------------------------------------

# Salvar o dataframe limpo e filtrado
saveRDS(tabela_descritiva_cantinho_MB, "tabela_descritiva_cantinho_MB.rds")

# Para ler depois:
dados_aracati_tratados1 <- readRDS("dados_aracati_tratados1.rds")

# Exportar a lista final de tabelas para o Excel
lista_exportacao_final <- list(
  descritiva_fisico_quimica = tabela_descritiva_parametro_teste,
  frequencia_microbiologica = tabela_frequencia_micro_confiavel,
  inconformidade_geral = tabela_inconformidade_geral_final
)

write_xlsx(tabela_descritiva_aracati_MB, "tabela_descritiva_aracati_MB.xlsx")
```

APÊNDICE B

A seguir, são transcritas as seções do questionário aplicado para priorização e hierarquização dos parâmetros para controle e vigilância da qualidade da água em comunidades rurais.
O documento foi previamente submetido à apreciação e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Campina Grande (CAAE n° 89338125.5.0000.5182), encontrando-se apresentado no Apêndice A.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa "**Modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano em comunidades rurais**", desenvolvido pela aluna de doutorado Lorena Rayssa Cunha França, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (PPGEGRN), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), situada na Avenida Aprígio Veloso, 882, Bairro Bodocongó, Campina Grande/PB, CEP 58429-900, Brasil. Sua colaboração neste estudo será de grande importância, porém, você não deve participar contra sua vontade.

Você poderá, a qualquer momento, antes, durante ou após a participação na pesquisa, solicitar esclarecimentos, recusar-se a participar ou desistir de sua participação, sem que isso lhe cause qualquer prejuízo. Caso deseje retirar seu consentimento após o envio do questionário, basta entrar em contato com a pesquisadora responsável, que confirmará o recebimento de sua solicitação. Para viabilizar essa possibilidade, solicitamos que informe seu endereço de e-mail no final do questionário.

Todas as informações coletadas serão tratadas com confidencialidade e utilizadas exclusivamente para fins científicos. Os resultados poderão ser divulgados em eventos acadêmicos ou em publicações científicas, sempre de forma agregada, sem identificação individual dos participantes ou qualquer dado que comprometa sua privacidade.

Objetivo principal da pesquisa: Propor um modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano em comunidades rurais do estado do Ceará.

Motivos para seu convite: sua atuação como especialistas na temática do estudo, de diferentes estados e com atuação no saneamento rural.

Benefícios alcançados com esta pesquisa: não estão previstos benefícios individuais aos participantes, contudo há um benefício coletivo pelo resultado da pesquisa.

Potenciais riscos e desconfortos associados à sua participação: esta pesquisa é classificada como de risco mínimo. Os principais riscos envolvem aspectos éticos relacionados à coleta de informações por meio de questionário online, incluindo o possível desconforto dos participantes ao expressarem suas percepções sobre práticas e critérios relacionados ao controle da qualidade da água em comunidades rurais e informar dados como e-mail, grau acadêmico, vínculo institucional e área de atuação. Porém, todas as informações coletadas serão mantidas em ambiente digital seguro, com acesso restrito ao pesquisador responsável.

O(a) senhor(a) ao aceitar participar da pesquisa deverá:

1. Eletronicamente aceitar participar da pesquisa, o que corresponde a assinalar a opção 'Concordo em participar'.

2. Responder ao questionário on-line.

O questionário pode ser respondido no momento e local de sua preferência. O(a) Senhor(a) não terá despesas e nem será remunerado pela participação na pesquisa. Fica plenamente garantido seu direito de pedir ressarcimento de eventuais despesas decorrentes e relacionadas única e exclusivamente da sua participação na pesquisa.

Você pode entrar em contato com a pesquisadora responsável (Lorena Rayssa Cunha França) a qualquer tempo para informação ou para retirada de sua participação. E-mail: lorenarayssacf@gmail.com.

Para a realização deste trabalho, foi necessário solicitar a avaliação de um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), órgão responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos, visando garantir a dignidade, os direitos, a segurança e o bem-estar dos participantes de pesquisas. Caso se sinta prejudicado(a) por participar desta pesquisa, pode recorrer ao CEP do Hospital Universitário Alcides Carneiro-HUAC. Endereço: R. Dr. Carlos Chagas, s/n, São José, Campina Grande-PB. Tel: 2101-5545, e-mail: cep@huac.ufcg.edu.br.

Como comprovação da assinatura deste TCLE, será enviada uma via de todas as informações aqui constantes para o e-mail que você informar abaixo.

E-mail: _____

Você declara que obteve todas as informações necessárias e concorda livre e espontaneamente em participar como voluntário(a) do estudo "**Modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano em comunidades rurais**"?

( ) Concordo em participar

( ) Não concordo em participar

Deseja conhecer os resultados da pesquisa?

( ) Desejo conhecer os resultados da pesquisa.

( ) Não desejo conhecer os resultados da pesquisa.

INTRODUÇÃO

Este questionário consiste em uma consulta a especialistas, sendo uma etapa metodológica do projeto de pesquisa de doutorado, que visa propor um modelo conceitual para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano em comunidades rurais do estado do Ceará. Estima-se que o questionário requeira em torno de 30 minutos para ser respondido.

Objetivo

Este questionário tem como finalidade obter a priorização e hierarquização dos parâmetros de qualidade da água a serem monitorados em sistemas e soluções de abastecimento de água rurais, por meio da metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*), considerando a Portaria nº 888/2021, do Ministério da Saúde, e as Resoluções Conama nº 357/2005, 396/2008 e 430/2011.

INFORMAÇÕES DO ESPECIALISTA

- Instituição
- Área de atuação
- E-mail
- Grau acadêmico

As respostas serão analisadas de forma integrada, sem a identificação dos participantes. Ademais, os dados serão utilizados para levantamento do perfil dos especialistas que aceitaram participar.

METODOLOGIA

Os especialistas deverão comparar os critérios e grupos de parâmetros de qualidade da água par a par, atribuindo sua preferência com base na escala, estabelecida por Saaty (1990) e apresentada no quadro a seguir.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância fraca de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu predomínio de importância é demonstrado na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Nas próximas etapas, a partir dos métodos apropriados, os resultados obtidos serão analisados para avaliar os critérios e grupos de parâmetros que devem ser priorizados nos contextos propostos de abastecimento de água rural.

Antes de executar a comparação par a par, recomenda-se a leitura prévia dos conceitos utilizados nos contextos, critérios e grupos de parâmetros de qualidade da água para consumo humano que são contemplados por esta análise.

CONTEXTOS CONSIDERADOS

A priorização será feita para quatro contextos de abastecimento de água, apresentados no quadro abaixo, considerando fatores como o tipo de manancial (superficial ou subterrâneo) e a forma de abastecimento (sistema ou solução alternativa coletiva).

Fatores	Contexto 1	Contexto 2	Contexto 3	Contexto 4
Tipo de manancial	Superficial	Superficial	Subterrâneo	Subterrâneo
Forma de abastecimento	SAA	SAC	SAA	SAC

CONCEITOS:

a). Manancial superficial

Compreende as águas doces dos córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios artificiais, como açudes e lagos represados (Brasil, 2019).

b). Manancial subterrâneo

São os mananciais que se encontram abaixo da superfície terrestre, compreendendo os aquíferos (lençóis) freáticos e profundos, tendo sua captação feita pelos poços rasos ou profundos, poços escavados ou tubulares, galerias de infiltração, barragens subterrâneas ou pelo aproveitamento das nascentes (fontes de encosta) (Brasil, 2019).

c). Sistema de abastecimento de água (SAA)

Instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição (Brasil, 2021).

d). Solução alternativa coletiva (SAC)

Modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, sem rede de distribuição (Brasil, 2021).

ATRIBUIÇÃO DE PESOS AOS CRITÉRIOS

CONCEITOS

a). Potabilidade e Impacto na saúde pública: avalia o grau de importância do parâmetro em relação à sua influência direta na saúde humana e na garantia da potabilidade da água. Este critério considera o potencial do parâmetro causar efeitos adversos à saúde quando presente em concentrações inadequadas, bem como sua relevância dentro dos padrões legais de qualidade da água para consumo humano.

b). Viabilidade Técnica e Operacional: considera a facilidade ou dificuldade de realizar o monitoramento do parâmetro nas condições reais dos sistemas e soluções de abastecimento de água em áreas rurais. Envolve a disponibilidade de equipamentos, reagentes e métodos analíticos acessíveis, a necessidade (ou não) de infraestrutura laboratorial, a capacitação da equipe local, o tempo de análise e a complexidade dos procedimentos envolvidos na coleta, transporte e interpretação dos resultados.

c). Custos financeiros: refere-se aos custos associados ao monitoramento regular de cada parâmetro, considerando desde a aquisição de reagentes e equipamentos até a manutenção, transporte de amostras, análise laboratorial e eventual contratação de serviços especializados. Este critério leva em conta a sustentabilidade econômica da implementação do controle da qualidade da água em comunidades rurais, muitas vezes com orçamento limitado e infraestrutura restrita.

	Potabilidade e Impacto na saúde pública	**Viabilidade Técnica e Operacional**	**Custos financeiros**
Potabilidade e Impacto na saúde pública	1		
Viabilidade Técnica e Operacional		1	
Custos financeiros			1

COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS

Os parâmetros foram selecionados e agrupados de acordo com as especificações dos normativos: Portaria GM/MS nº 888/2021, Resolução Conama nº 357/2005, Resolução Conama nº 396/2008 e Resolução Conama nº 430/2011.

GRUPO 1: Monitoramento de Rotina

Parâmetros considerados indicadores sentinelas da qualidade da água, ou seja, aqueles que fornecem sinais rápidos e confiáveis sobre possíveis falhas no sistema de tratamento e riscos à saúde. São exigidos com maior frequência de monitoramento pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (diária, semanal ou mensal) e, por sua relevância, costumam estar presentes no controle de rotina mesmo em sistemas simplificados de áreas rurais. São operacionalmente viáveis e fundamentais para a vigilância contínua da potabilidade da água.

Parâmetros: Cloro Residual Livre, E. coli, Turbidez, Cor Aparente e pH.

GRUPO 2: Monitoramento Periódico

Parâmetros que requerem monitoramento em menor frequência (trimestral, semestral ou anual) ou em condições específicas, como variações do manancial, intervenções no sistema ou suspeitas de contaminação. São importantes para complementar o diagnóstico da qualidade da água e avaliar sua estabilidade ao longo do tempo. Apresentam viabilidade técnica moderada, sendo geralmente mais acessíveis do que os parâmetros de investigação, mas ainda exigem alguma estrutura para coleta e análise.

Parâmetros: Coliformes Totais, Condutividade, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Dureza Total, Ferro, Manganês e Cloretos.

GRUPO 03: Monitoramento de Investigação ou Ampliado

Parâmetros que exigem monitoramento mais especializado, geralmente aplicados em investigações pontuais, estudos aprofundados ou em resposta a riscos ambientais específicos. São recomendados em situações que envolvem contaminações químicas, degradação do manancial, proximidade com atividades agrícolas ou industriais, ou ainda para atendimento de exigências regulatórias complementares. Apresentam maior complexidade analítica, demandando infraestrutura laboratorial mais robusta, capacitação técnica específica e maiores custos operacionais. Por esses motivos, são menos acessíveis a sistemas de abastecimento de pequeno porte em áreas rurais, sendo priorizados apenas conforme o contexto.

Parâmetros: Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e Fósforo Total.

GRUPO 04: Análises de Parâmetros Especiais

Parâmetros que demandam técnicas analíticas avançadas, frequentemente exigidas por regulamentações específicas ou em situações excepcionais, como em áreas com histórico de contaminação por radioatividade, metais pesados ou compostos industriais. Esses parâmetros geralmente exigem laboratórios altamente especializados, sendo indicados para investigações detalhadas ou ações de vigilância sanitária e ambiental em contextos de alto risco.

Parâmetros: urânio, arsênio, mercúrio, pesticidas e agrotóxicos, poluentes emergentes (medicamentos e hormônios).

CONTEXO 1: MANANCIAL SUPERFICIAL E SAA

Critério: Potabilidade e Impacto na saúde pública

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

Critério: Viabilidade Técnica e Operacional

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

Critério: Custos financeiros

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

CONTEXO 2: Manancial Superficial e SAC

Critério: Potabilidade e Impacto na saúde pública

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

Critério: Viabilidade Técnica e Operacional

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

Critério: Custos financeiros

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

CONTEXO 3: Manancial Subterrâneo e SAA

Critério: Potabilidade e Impacto na saúde pública

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

Critério: Viabilidade Técnica e Operacional

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

Critério: Custos financeiros

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

CONTEXO 4: Manancial Subterrâneo e SAC

Critério: Impacto na saúde pública e potabilidade

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

Critério: Viabilidade Técnica e Operacional

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

Critério: Custos financeiros

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1	1			
Grupo 2		1		
Grupo 2			1	
Grupo 4				1

COMENTÁRIOS ADICIONAIS

Os especialistas podem incluir justificativas para suas escolhas e sugestões para aprimorar o processo de priorização.

Comentário: _____

ANEXO A

Tabela 24 - Valores das análises laboratoriais

Item	Custo unitário (R$)
CRL	23,00
Turbidez	20,00
Cor Aparente	15,00
pH	17,00
E. coli	25,00
CT	25,00
Dureza total	28,00
Cloretos	135,00
Ferro	39,00
Manganês	40,00
Nitrato	34,00
Nitrito	34,00
DBO/DQO	62,00
Fósforo total	40,00
OD	23,00
Clorofila-a	30,00
Cianobactérias	180,00
Bactérias heterotróficas	33,00
CE	18,00

Fonte: Embasa (2025).

Tabela 25 – Valores para mobilização

Item	Custo (R$)
Mobilização, coleta e transporte de amostras para água até 100km	700,00
Mobilização, coleta e transporte de amostras para água de 101 a 150km	900,00
Mobilização, coleta e transporte de amostras para água além a cada 50km	450,00

Fonte: Embasa (2025).