

INSTITUTO FEDERAL DO SERTÃO PARAIBANO
CAMPUS CAJAZEIRAS

SILVANA PEDROSA LIMA

**IMPACTOS DA AUSÊNCIA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA
SUSTENTABILIDADE DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO –
RAMAL DO APODI – TRECHO DO CANAL ENROCADO E BARRAGENS**

Cajazeiras-PB
2026

SILVANA PEDROSA LIMA

**IMPACTOS DA AUSÊNCIA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA
SUSTENTABILIDADE DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO –
RAMAL DO APODI – TRECHO DO CANAL ENROCADO E BARRAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
à Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal do
Sertão Paraibano-*Campus* Cajazeiras, como
parte dos requisitos para a obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil, sob
Orientação do Prof.^a Cinthya Santos da Silva.

Cajazeiras-PB
2026

IFSPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

L732i Lima, Silvana Pedrosa.

Impactos da ausência de esgotamento sanitário na sustentabilidade da transposição do Rio São Francisco : ramal do Apodi : trecho do canal enrocado e barragens / Silvana Pedrosa Lima. - Cajazeiras, 2026.

28f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão da Paraíba, Cajazeiras, 2026.

Orientadora: Prof.a Cinthya Santos da Silva.

1. Esgotamento sanitário. 2. Sustentabilidade. 3. Rio São Francisco. 4. Segurança hídrica. I. Instituto Federal do Sertão da Paraíba. II. Título.

SILVANA PEDROSA LIMA

**IMPACTOS DA AUSÊNCIA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA
SUSTENTABILIDADE DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO –
RAMAL DO APODI – TRECHO DO CANAL ENROCADO E BARRAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal do Sertão Paraibano, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **CINTHYA SANTOS DA SILVA**
Data: 17/08/2026 08:23:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cinthyia Santos da Silva – IFSertãoPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **BRUNO DE MEDEIROS SOUZA**
Data: 17/08/2026 09:59:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Bruno de Medeiros Sousa – IFSertãoPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

ASSINADO DIGITALMENTE
ROBSON ARRUDA DOS SANTOS:06900587488
CPF
069.005.874-88
DATA
17 de ago. de 2026
Data colida de um servidor de tempo
A conformidade com a assinatura pode ser verificada em:
<https://serpro.gov.br/assinador-digital>


Robson Arruda dos Santos – IFSertãoPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 2

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil,

IMPACTOS DA AUSÊNCIA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA SUSTENTABILIDADE DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO – RAMAL DO APODI – TRECHO DO CANAL ENROCADO E BARRAGENS.

SILVANA PEDROSA LIMA
silvana.pedrosa@academico.ifpb.edu.br
CINTHYA SANTOS DA SILVA
cinthya.santos@ifpb.edu.br

RESUMO

O estudo analisa os impactos da ausência de esgotamento sanitário na sustentabilidade do Ramal do Apodi, integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, com enfoque no trecho do canal enrocado e nas barragens localizadas nos Municípios de Cajazeiras, Cachoeira dos Índios e Uiraúna, na Paraíba, e Major Sales, Luís Gomes e José da Penha, no Rio Grande do Norte. Adotou-se abordagem qualitativa e descritiva, baseada em levantamento bibliográfico, análise documental e utilização de dados secundários provenientes do IBGE, SINISA, ANA, FUNASA e DATASUS. Os resultados evidenciaram diferentes padrões de vulnerabilidade sanitária, com destaque para Cajazeiras, que apresentou elevada cobertura de abastecimento de água e baixa cobertura de esgotamento sanitário, e José da Penha, que registrou o cenário mais crítico de esgoto não coletado. Verificou-se que a proximidade entre áreas urbanas, estruturas hidráulicas e trechos enrocados do canal aumentam o risco de contaminação superficial e subterrânea da água transportada pelo sistema. Conclui-se que a segurança hídrica do Ramal do Apodi não depende apenas da disponibilidade de água, mas também da qualidade dos recursos hídricos e das condições de saneamento dos municípios de sua área de influência. A insuficiência da coleta e do tratamento de esgoto constitui fator de vulnerabilidade ambiental, especialmente nas proximidades das estruturas hidráulicas. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de ampliar a infraestrutura de esgotamento sanitário, fortalecer o monitoramento da qualidade da água e integrar políticas de saneamento, saúde pública, gestão ambiental e recursos hídricos, visando reduzir riscos de contaminação e assegurar a sustentabilidade do empreendimento.

Palavras-Chave: saneamento básico; segurança hídrica; Ramal do Apodi; transposição do Rio São Francisco; canal enrocado.

ABSTRACT

This study analyzes the impacts of the lack of sanitation infrastructure on the sustainability of the Apodi Branch—part of the São Francisco River Integration Project—focusing on the riprap-lined canal section and dams located in the municipalities of Cajazeiras, Cachoeira dos Índios, and Uiraúna (Paraíba), and Major Sales, Luís Gomes, and José da Penha (Rio Grande do Norte). A qualitative and descriptive approach was adopted, based on a literature review, document analysis, and the use of secondary data from IBGE, SINISA, ANA, FUNASA, and DATASUS. The results revealed varying patterns of sanitary vulnerability; notably, Cajazeiras showed high water supply coverage but low sanitation coverage, while José da Penha presented the most critical scenario regarding uncollected sewage. It was found that the proximity of urban areas, hydraulic structures, and riprap-lined canal sections increases the risk of surface and groundwater contamination for the water transported by the system. The study concludes that

the water security of the Apodi Branch depends not only on water availability but also on water quality and the sanitation conditions of the municipalities within its area of influence. Inadequate sewage collection and treatment constitute a factor of environmental vulnerability, particularly near hydraulic structures. In this context, there is a clear need to expand sanitation infrastructure, strengthen water quality monitoring, and integrate policies regarding sanitation, public health, environmental management, and water resources, aiming to reduce contamination risks and ensure the project's sustainability.

Keywords: basic sanitation; water security; Apodi Branch; São Francisco River diversion; riprap-lined canal.

1 INTRODUÇÃO

A Região do Semiárido Brasileiro (SAB), localizada territorialmente em onze estados da federação — os nove estados da Região Nordeste, mais o norte do Estado de Minas Gerais e alguns municípios do Estado do Espírito Santo —, é caracterizada climaticamente pelos efeitos do comportamento variável das chuvas no espaço e no tempo, com intervalos de fortes estiagens e secas (Carvalho, 2020).

Historicamente, os impactos das secas foram sempre severos para a população do SAB, resultando em fome e sede em função da escassez de água e da baixa produção de alimentos, devido a um conjunto de condições naturais e socioeconômicas (Araújo, 2021).

A fim de minimizar os efeitos dessa problemática, diferentes políticas públicas vêm sendo introduzidas ao longo dos anos. O que pode se verificar, porém, é uma mudança no entendimento da real natureza do problema: o combate à seca, condição natural, foi substituído pelo combate a escassez de água, um problema social (Demo, 2006).

As novas políticas públicas buscam, assim, a criação de condições que permitam a convivência com o semiárido, como novas tecnologias de captação e armazenamento de água de chuva, manejo sustentado da caatinga, entre outras ações. É, segundo Moraes, Paiva e Sousa (2017, p. 03), “a busca por viver o semiárido, no semiárido com o semiárido”.

Nesse contexto, surgiu o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), uma das maiores obras de infraestrutura hídrica da América Latina, com aproximadamente 477 km de canais e diversas estruturas auxiliares como estações de bombeamento, aquedutos, sifões, túneis e reservatórios. O projeto tem como objetivo principal garantir o abastecimento de água de forma contínua e perene para regiões de alta vulnerabilidade hídrica nos Estados da Paraíba, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte (Brasil, 2023).

Especificamente, o Ramal do Apodi integra o conjunto de ramais complementares do Eixo Norte do PISF e representa uma etapa estratégica para a universalização do abastecimento hídrico em regiões vulneráveis dos Estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte. Estima-se que cerca de 750 mil pessoas serão diretamente beneficiadas por este ramal, o qual promete impulsionar não apenas o abastecimento humano, mas também atividades produtivas como a agricultura irrigada e o pequeno comércio local.

Contudo, apesar de seu alto potencial de transformação socioeconômica, o Ramal do Apodi enfrenta desafios críticos relacionados à precariedade do saneamento básico nos municípios contemplados. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Brasil, 2023), os três estados abrangidos pelo ramal possuem índices médios de cobertura por rede de esgotamento sanitário inferiores a 40%, sendo 38,9% na Paraíba, 29,7% no Rio Grande do Norte e 29,6% no Ceará, o que coloca em risco a qualidade da água transportada.

A baixa cobertura de redes de coleta e tratamento de esgoto não apenas compromete a saúde pública, como também ameaça diretamente os canais de distribuição hídrica, uma vez que muitos dos cursos atravessados pelo ramal apresentam esgoto a céu aberto, lançamento

irregular de resíduos e ausência de infraestrutura de tratamento. Esses fatores elevam o risco de contaminação da água, gerando impactos negativos tanto para os sistemas de abastecimento quanto para os ecossistemas locais (Instituto Trata Brasil, 2022).

Além disso, a degradação da qualidade hídrica aumenta os custos operacionais de tratamento, reduz a eficácia do projeto e perpetua a condição de vulnerabilidade hídrica das populações atendidas.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019), a segurança hídrica não depende apenas da disponibilidade física de água, mas também da capacidade de proteger os mananciais contra fontes de poluição e de garantir infraestrutura adequada de coleta e tratamento de esgoto. Nesse contexto, municípios com baixa cobertura sanitária pode comprometer a qualidade da água transportada pelo sistema de transposição, mesmo quando há disponibilidade hídrica suficiente.

Assim, esse trabalho se propõe a investigar como a falta de esgotamento sanitário pode interferir na sustentabilidade, qualidade e segurança hídrica do Ramal do Apodi. Ao evidenciar os riscos de contaminação dos canais e mananciais, a pesquisa busca contribuir para o aprimoramento de políticas públicas integradas, que considerem infraestrutura hídrica e saneamento como dimensões indissociáveis do direito à água, à saúde e ao desenvolvimento sustentável no semiárido.

Nesse contexto, esse trabalho objetiva-se investigar a influência da carência de saneamento básico nos municípios contemplados pelo trecho do canal enrocado, e barragens que compõem parte do ramal do Apodi (figura 1). Mais precisamente no começo do trecho enrocado, no canal 14E localizado na Cidade de Uiraúna PB, e no término do canal 16 em José da Penha - RN, e nas seguintes barragens: Barragem do Caiçara localizada em Cajazeiras - PB, Barragem do Tambor/Redondo localizada em Cachoeira dos Índios - PB e a Barragem de Angicos localizada em José da Penha – RN.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

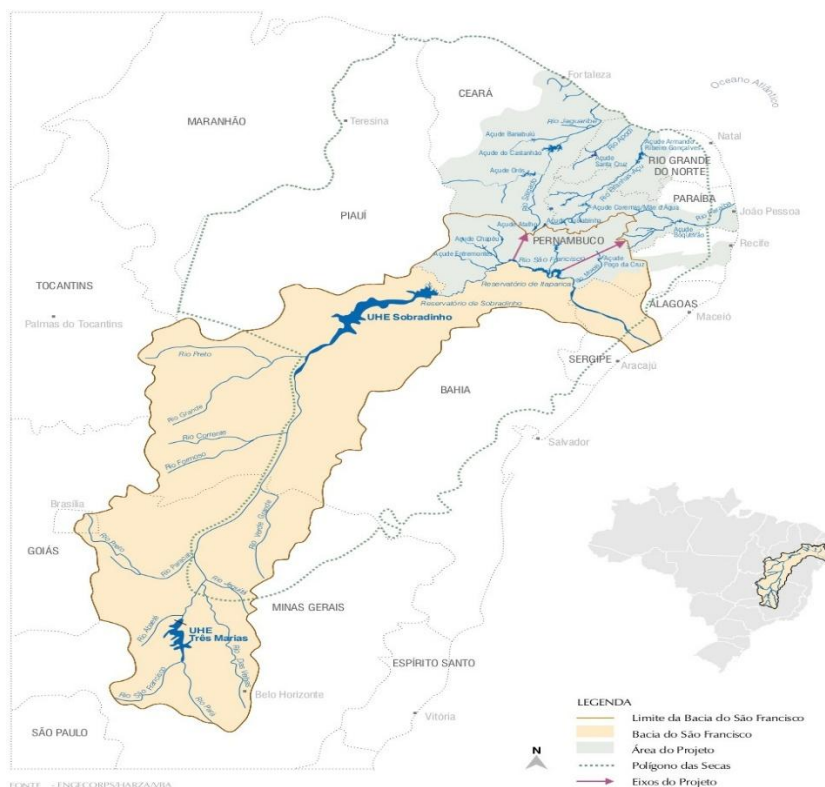
2.1 Rio São Francisco

a. Contexto Histórico

O Rio São Francisco é um dos mais importantes cursos d'água do Brasil, desempenhando papel fundamental no desenvolvimento econômico, social e ambiental das regiões por ele abrangidas, especialmente do Nordeste brasileiro. Sua bacia hidrográfica possui aproximadamente 639 mil km² e representa cerca de 8% do território nacional, constituindo importante eixo para o abastecimento público, irrigação, geração de energia e demais usos múltiplos da água (ANA, 2012; CBHSF, 2026).

Conhecido popularmente como “Velho Chico”, o rio possui aproximadamente 2.863 quilômetros de extensão, tendo sua nascente na Serra da Canastra, no município de São Roque de Minas, em Minas Gerais, e percorrendo diferentes estados brasileiros até desaguar no Oceano Atlântico, na divisa entre Alagoas e Sergipe (figura 1) (ANA, 2012; CBHSF, 2026).

Figura 1 – Mapa do Rio São Francisco.



Fonte: Adaptado de ENGECORPS/HARZA (2000, p. 17).

Ao longo da história brasileira, o Rio São Francisco desempenhou papel estratégico na integração territorial do país, contribuindo para o transporte, abastecimento e desenvolvimento das atividades econômicas no interior nordestino (Portal São Francisco, 2024).

A relevância do Rio São Francisco não se limita aos aspectos econômicos, abrangendo também dimensões sociais, culturais e ambientais, sobretudo para as populações ribeirinhas que dependem diretamente de suas águas para abastecimento humano, agricultura, pesca e geração de renda (Pereira, 2024).

A ideia de transferir águas do Rio São Francisco para regiões afetadas pela seca no semiárido nordestino remonta ao século XIX. Os primeiros registros da proposta surgiram ainda durante o período imperial brasileiro, quando autoridades e engenheiros passaram a discutir alternativas para minimizar os impactos das estiagens recorrentes na Região Nordeste (Pires, 2019; Souza; Ramos, 2010). E após a grande seca de 1877–1879, considerada uma das maiores tragédias climáticas da história do Brasil, ficaram evidentes os graves problemas sociais provocados pela escassez hídrica, como fome, migrações em massa e aumento da pobreza (Martins, 2023).

Durante o início do século XX, o Governo Federal passou a desenvolver estudos técnicos mais aprofundados sobre a possibilidade de integração das águas do São Francisco com outras bacias hidrográficas do Nordeste. Nesse contexto, foi criada a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), posteriormente transformada no Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), órgão responsável pela execução de políticas públicas voltadas ao combate à seca (Brasil, 2021a).

O Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) ganhou maior força política a partir das décadas de 1990 e 2000, sendo oficialmente iniciado em 2007, durante o governo do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, com a autorização para o início das obras pelo Ministério da Integração Nacional e pelo IBAMA (Exman, 2007). O principal objetivo do empreendimento consiste em garantir segurança hídrica para estados do semiárido nordestino, reduzindo os

impactos provocados pelas secas prolongadas e assegurando abastecimento humano para milhões de pessoas (Sant, 2022; Portal São Francisco, 2024).

O projeto foi estruturado em dois grandes eixos de integração hídrica: o Eixo Norte e o Eixo Leste. O Eixo Norte possui maior extensão e atende principalmente os Estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte, enquanto o Eixo Leste beneficia Pernambuco e parte da Paraíba. As obras envolvem a construção de canais, aquedutos, túneis, reservatórios e estações de bombeamento, sendo consideradas uma das maiores obras de infraestrutura hídrica da América Latina (Brasil, 2020a).

Nesse contexto, a transposição do Rio São Francisco passou a ser compreendida como uma importante política pública voltada à redução das desigualdades regionais e ao fortalecimento da segurança hídrica no semiárido brasileiro (Souza; Ramos, 2010).

b. Saneamento Básico

O saneamento básico representa um dos principais desafios estruturais da região Nordeste. A Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, foi atualizada pela Lei nº 14.026/2020, mantendo como componentes essenciais o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e o manejo das águas pluviais (Brasil, 2007; Brasil, 2020). A universalização desses serviços é fundamental para a promoção da saúde pública, a preservação ambiental, a proteção dos recursos hídricos e a melhoria da qualidade de vida da população.

A ausência de saneamento básico adequado contribui diretamente para a contaminação de rios, reservatórios e aquíferos, comprometendo a qualidade da água e favorecendo a disseminação de doenças de veiculação hídrica, como hepatite A, diarreias infecciosas, verminoses e leptospirose (FUNASA, 2015). Além disso, a deficiência nos serviços de coleta e tratamento de esgoto intensifica os processos de degradação ambiental e compromete o aproveitamento sustentável dos recursos hídricos.

Apesar dos avanços observados nas últimas décadas, os estados abrangidos pelo Ramal do Apodi ainda apresentam déficits significativos nos serviços de saneamento básico. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento demonstram que o Nordeste permanece abaixo da média nacional em relação à coleta e tratamento de esgoto, principalmente em municípios do interior semiárido (SNIS, 2024). Segundo levantamentos recentes, milhões de pessoas ainda não possuem acesso regular à rede de esgotamento sanitário, situação que agrava os problemas sociais e ambientais da região.

No Ceará, embora existam avanços relacionados à gestão hídrica e abastecimento de água, ainda persistem desigualdades significativas no acesso à coleta e tratamento de esgoto, especialmente em municípios interioranos. Na Paraíba, o estado apresenta um dos melhores índices de saneamento do Nordeste, porém ainda enfrenta limitações estruturais relacionadas à universalização do esgotamento sanitário e à expansão da infraestrutura hídrica. Já o Rio Grande do Norte apresenta desafios históricos relacionados à escassez hídrica e à insuficiência dos sistemas de esgotamento sanitário, sobretudo em áreas rurais e cidades do semiárido (SNIS, 2024).

Nesse contexto, a chegada das águas da transposição possui importância estratégica para o fortalecimento do abastecimento humano, principalmente em municípios localizados em áreas semiáridas. Entretanto, especialistas ressaltam que a falta de saneamento básico adequado pode comprometer diretamente os benefícios esperados com a implantação do Ramal do Apodi. A ausência de coleta e tratamento de esgoto favorece a poluição dos corpos hídricos receptores das águas da transposição, aumentando os riscos de contaminação ambiental e reduzindo a qualidade da água distribuída à população (FUNASA, 2015).

Além disso, a degradação dos reservatórios e canais provocada pelo lançamento irregular de esgoto pode elevar os custos operacionais de tratamento da água e comprometer a eficiência do sistema hídrico ao longo do tempo.

Os estados abrangidos pelo Ramal do Apodi – Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte – apresentam avanços graduais em infraestrutura hídrica e saneamento, porém ainda enfrentam desafios significativos relacionados à universalização dos serviços básicos (SNIS, 2024). O Ceará destaca-se historicamente pelos investimentos em reservatórios, adutoras e sistemas de gestão hídrica, embora ainda existam desigualdades regionais no acesso ao saneamento básico. A Paraíba passou a receber reforço hídrico por meio da integração com importantes reservatórios estaduais, enquanto o Rio Grande do Norte mantém elevada expectativa em relação à ampliação da segurança hídrica proporcionada pela transposição (ANA, 2021).

Dessa forma, a efetividade do Ramal do Apodi depende não apenas da conclusão das obras de infraestrutura hídrica, mas também da ampliação dos investimentos em saneamento básico, preservação ambiental e gestão sustentável dos recursos hídricos.

c. Ramal do Apodi

O Ramal do Apodi (Figura 2) possui grande importância estratégica por ampliar o alcance das águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco. A obra possui aproximadamente 115 quilômetros de extensão e tem como principal objetivo conduzir as águas do Eixo Norte até a Barragem Angicos, no Rio Grande do Norte (Brasil, 2020a). O ramal atravessa municípios da Paraíba e do Ceará antes de alcançar o território potiguar, beneficiando centenas de municípios e milhões de habitantes da região semiárida.

Figura 2 – Mapa do Ramal do Apodi.



Fonte: Autor com dados da empresa construtora (2026).

As obras do Ramal do Apodi passaram por períodos de paralisação e reestruturação contratual, mas vêm apresentando avanços nos últimos anos com a execução simultânea de diferentes trechos da obra (Brasil, 2024). Entre os serviços realizados destacam-se escavações, concretagem, implantação de canais, aquedutos e estruturas hidráulicas responsáveis pelo transporte das águas da transposição.

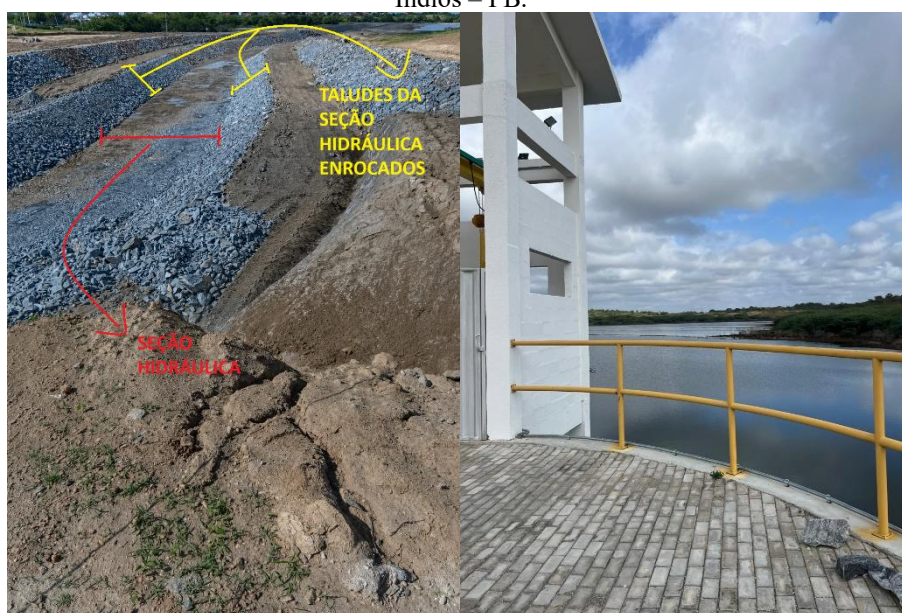
A expectativa em torno da conclusão do Ramal do Apodi está relacionada principalmente ao fortalecimento da segurança hídrica regional, ao abastecimento humano e ao desenvolvimento das atividades agrícolas e econômicas do semiárido nordestino (Brasil, 2024). Contudo, especialistas ressaltam que os benefícios da transposição dependem não apenas da conclusão das obras, mas também da ampliação das redes de distribuição de água, coleta e

tratamento de esgoto e adoção de políticas públicas voltadas à sustentabilidade ambiental e à gestão eficiente dos recursos hídricos.

3 MÉTODO DA PESQUISA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa, descritiva e documental, com o objetivo de analisar os possíveis impactos associados à ausência ou insuficiência de esgotamento sanitário sobre a segurança hídrica no trecho do canal enrocado e nas barragens que compõem o Ramal do Apodi (Figura 3), integrante do Eixo Norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF). A pesquisa concentra-se nos municípios diretamente relacionados à área de estudo, considerando as condições de saneamento básico e sua proximidade com as estruturas hidráulicas do empreendimento.

Figura 3 – Trecho do canal enrocado em Major Sales – RN, e Barragem do Tambor/Redondo em Cachoeira dos Índios – PB.



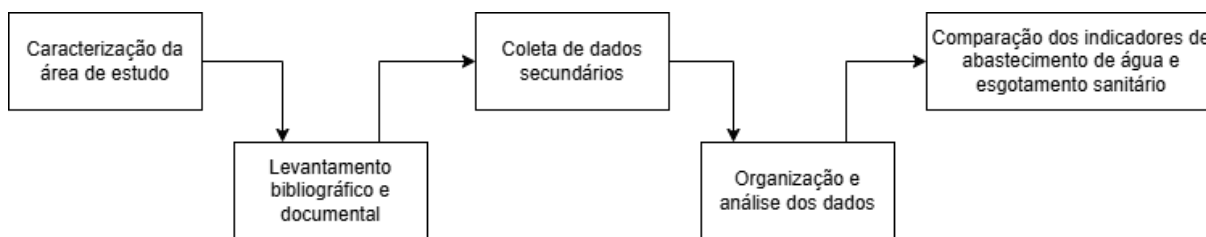
Fonte: Autor com dados da empresa construtora, 2026.

A abordagem qualitativa foi adotada por possibilitar a interpretação das condições socioambientais identificadas na área estudada, considerando a relação entre infraestrutura de saneamento, ocupação urbana, recursos hídricos e estruturas destinadas à condução e ao armazenamento de água. O caráter descritivo está relacionado à apresentação e à caracterização das condições de abastecimento de água e esgotamento sanitário dos municípios analisados, bem como à identificação de possíveis situações de vulnerabilidade ambiental associadas à ausência de coleta e tratamento de esgoto.

A pesquisa foi desenvolvida por meio de levantamento bibliográfico, pesquisa documental e análise de dados secundários, obtidos em bases oficiais e institucionais. Foram utilizadas informações provenientes de órgãos como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SINISA), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), além de documentos técnicos relacionados ao Projeto de Integração do Rio São Francisco e ao Ramal do Apodi.

As etapas metodológicas foram organizadas conforme apresentado no fluxograma da Figura 4 e compreenderam:

Figura 4 – Fluxograma.



Fonte: Autor (2026).

A análise considerou indicadores relacionados à população, abastecimento de água, coleta e esgotamento sanitário dos municípios estudados, buscando identificar diferentes padrões de vulnerabilidade sanitária e sua relação com as estruturas hidráulicas do Ramal do Apodi.

Para estimar o volume potencial de esgoto doméstico gerado, foi adotado o coeficiente de retorno de 0,8 (80%), conforme FUNASA (2015), considerando que aproximadamente 80% da água consumida retorna ao ambiente na forma de esgoto doméstico. Assim, foi utilizada a relação:

$$\text{Volume potencial de esgoto} = \text{Volume de água consumida} \times 0,8$$

Os resultados foram organizados e comparados entre os municípios, considerando as condições de saneamento e sua possível influência sobre a proteção dos recursos hídricos. Ressalta-se que a pesquisa não realizou análises laboratoriais da qualidade da água, sendo os possíveis riscos de contaminação avaliados a partir dos dados secundários, da literatura e das características da área de estudo.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

Inicialmente, foi realizada a caracterização geográfica, populacional, socioeconômica e ambiental dos municípios inseridos na área de estudo, contemplando Cajazeiras, Cachoeira dos Índios e Uiraúna, no estado da Paraíba, e Luís Gomes, Major Sales e José da Penha, no estado do Rio Grande do Norte. As principais informações referentes à população, área territorial, densidade demográfica, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Produto Interno Bruto (PIB) per capita e bioma predominante são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Informações das cidades.

Município	UF	População (hab)	Área Territorial (km²)	Densidade demográfica (hab/km²)	IDHM	PIB per capita (R\$)	Bioma predominante
Cajazeiras	PB	63.239	562,703	112,38	0,679	28.597,01	Caatinga
Cachoeira dos Índios	PB	9.151	193,215	47,36	0,587	16.733,17	Caatinga
Uiraúna	PB	14.930	293,182	50,92	0,636	16.444,05	Caatinga
Luís Gomes	RN	9.070	166,638	54,43	0,608	12.392,43	Caatinga
Major Sales	RN	3.924	31,971	122,74	0,617	16.749,53	Caatinga
José da Penha	RN	5.803	117,635	49,33	0,608	15.216,65	Caatinga

Fonte: Autor (2026) com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2022).

Os municípios analisados estão inseridos predominantemente no Bioma Caatinga, estando, portanto, sujeitos às características ambientais do semiárido nordestino. Esse contexto é marcado por elevadas temperaturas, baixos índices pluviométricos e distribuição irregular das precipitações ao longo do ano. De modo geral, as temperaturas médias da região situam-se entre 25 °C e 30 °C, enquanto os índices de precipitação apresentam elevada variabilidade espacial e temporal, constituindo um dos principais fatores condicionantes da disponibilidade hídrica regional (Leal et al., 2018).

As características climáticas e ambientais da Caatinga também influenciam diretamente as atividades econômicas desenvolvidas nos municípios estudados. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2026), a agropecuária constitui uma das atividades de importância econômica nas áreas inseridas nesse bioma, sendo desenvolvida, em grande parte, por pequenos produtores rurais. As atividades agrícolas e pecuárias apresentam adaptações às condições de disponibilidade hídrica e climática do semiárido, contribuindo para a geração de renda e para o abastecimento das populações locais..

Além das características socioeconômicas e ambientais, a localização dos municípios em diferentes áreas de contribuição hidrográfica constitui um aspecto relevante para a análise da segurança hídrica. Conforme apresentado no Quadro 2, os municípios estudados estão associados às bacias hidrográficas dos rios do Peixe, Salgado e Apodi-Mossoró, apresentando diferentes relações com essas áreas de drenagem.

Quadro 2 – Bacias hidrográficas

Município	UF	Bacia hidrográfica
Cajazeiras	PB	Rio do Peixe
Cachoeira dos Índios	PB	Rio do Peixe e Rio Salgado
Uiraúna	PB	Rio do Peixe e Apodi-Mossoró
Luís Gomes	RN	Rio do Peixe e Apodi-Mossoró
Major Sales	RN	Apodi-Mossoró
José da Penha	RN	Apodi-Mossoró

Fonte: Autor (2026) com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2021).

A inserção dos municípios em diferentes áreas hidrográficas é particularmente relevante considerando a implantação do Projeto de Integração do Rio São Francisco e a função do Ramal do Apodi na ampliação da disponibilidade hídrica regional. Nesse contexto, a qualidade da água constitui um componente fundamental da segurança hídrica, uma vez que a disponibilidade de água em quantidade suficiente não garante, isoladamente, condições adequadas para os diferentes usos. A presença de contaminantes microbiológicos ou químicos pode comprometer a utilização dos recursos hídricos e representar riscos à saúde da população, tornando necessária a adoção de medidas de proteção e monitoramento dos mananciais (Brasil, 2021b; ANA, 2021).

Essa relação torna-se ainda mais relevante em áreas que apresentam deficiência na infraestrutura de saneamento básico. A ausência ou insuficiência de sistemas adequados de coleta e tratamento de esgoto pode favorecer o lançamento de efluentes no ambiente, contribuindo para a degradação da qualidade dos recursos hídricos e aumentando a exposição da população a doenças relacionadas à deficiência do saneamento. Segundo o Instituto Trata Brasil (2022), as desigualdades na cobertura dos serviços de esgotamento sanitário estão associadas à ocorrência de doenças de veiculação hídrica, no Nordeste, a baixa cobertura da coleta de esgoto — em torno de 28% da população — contribuiu para o registro de aproximadamente 113,7 mil internações em 2019, configurando o maior número de hospitalizações por doenças relacionadas à deficiência do saneamento básico entre as regiões brasileiras.

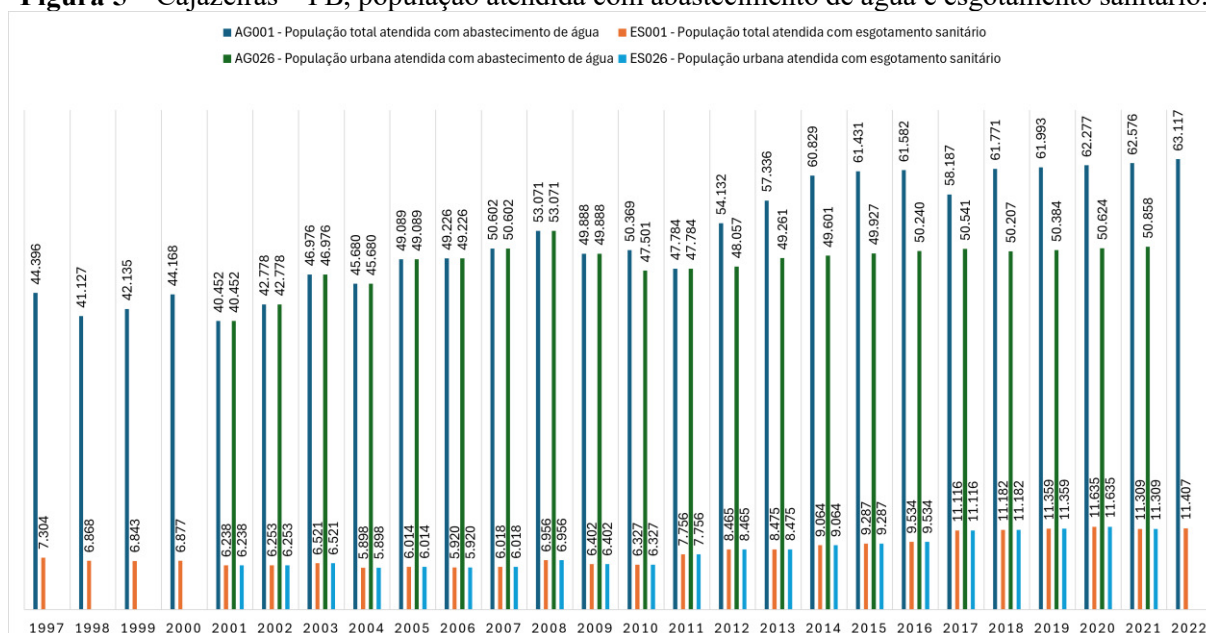
A partir dos dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SINISA) e da análise das características ambientais, hidrográficas e construtivas relacionadas ao Ramal do Apodi, foram identificados diferentes padrões de vulnerabilidade sanitária entre os municípios estudados. A comparação dos indicadores permitiu observar que a cobertura dos serviços de abastecimento de água não ocorre necessariamente de forma proporcional à cobertura dos serviços de esgotamento sanitário, evidenciando diferenças importantes na infraestrutura sanitária municipal.

Dessa forma, os resultados apresentados a seguir são organizados individualmente por município, permitindo analisar de maneira mais detalhada as condições de abastecimento de água e esgotamento sanitário, os volumes potenciais de geração de esgoto e a relação dessas condições com a área de influência do Ramal do Apodi e de suas estruturas hidráulicas.

4.1 Cajazeiras – PB

Cajazeiras apresentou cobertura de abastecimento de água próxima da universalização, logo a cobertura de abastecimento de água atingiu cerca de 99,8% da população, porém, cobertura de esgotamento sanitário atingiu apenas 18,0% (Figura 5). A diferença de 81,8 pontos percentuais entre os serviços evidencia um desequilíbrio estrutural do saneamento municipal.

Figura 5 – Cajazeiras – PB, população atendida com abastecimento de água e esgotamento sanitário.

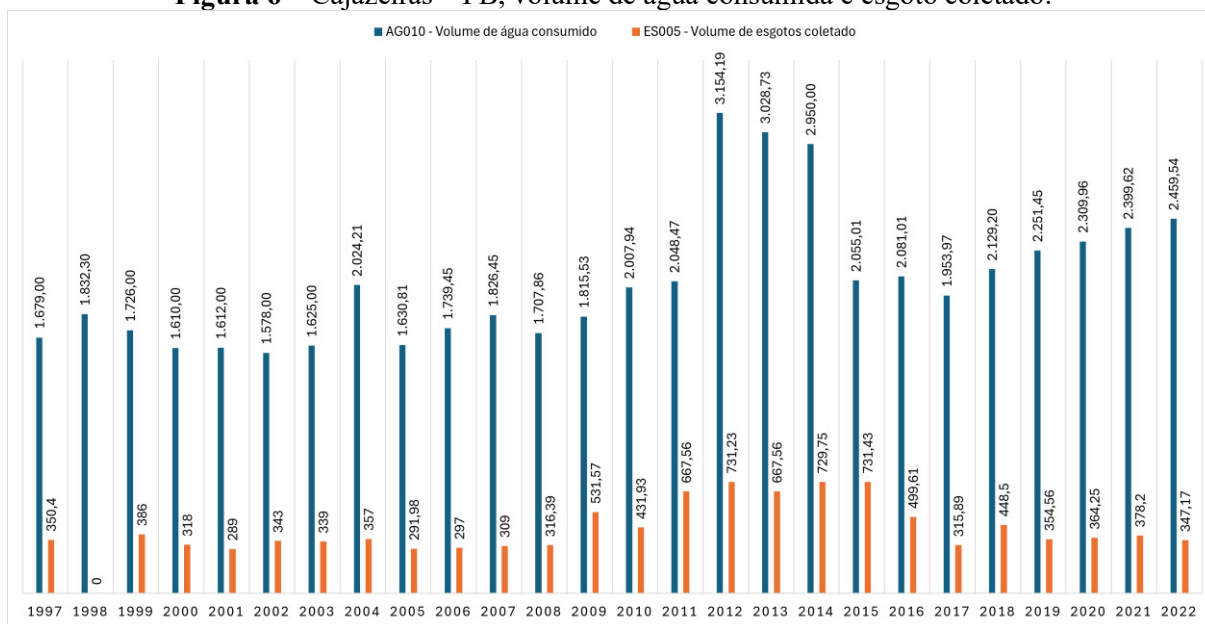


Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

Observa-se, ainda, que os indicadores AG026 – população urbana atendida com abastecimento de água e ES026 – população urbana atendida com esgotamento sanitário não apresentam valores registrados no período de 1997 a 2000 na base de dados utilizada, a partir de 2001, passam a ser observados registros para esses indicadores, permitindo acompanhar de forma mais específica a evolução do atendimento da população urbana pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

A literatura aponta que a expansão do abastecimento sem a correspondente ampliação da coleta de esgoto tende a aumentar a carga de efluentes lançados no ambiente (Instituto Trata Brasil, 2023). Em 2022, o município consumiu 2.459,54 mil m³ de água, o que corresponde a uma geração estimada de 1.967,63 mil m³ de esgoto. Entretanto, apenas 347,17 mil m³ foram efetivamente coletados, representando 17,64% do volume potencialmente gerado (Figura 6).

Figura 6 – Cajazeiras – PB, volume de água consumida e esgoto coletado.



Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

Isso significa que aproximadamente 82,36% do esgoto potencialmente gerado pela população não era coletado pelo sistema público, configurando um expressivo passivo ambiental e sanitário. Ressalta-se que os serviços de coleta de esgoto apresentam maior cobertura na população urbana, enquanto a população rural permanece, em grande parte, sem atendimento adequado. Considerando que a Barragem Caiçara constitui a primeira estrutura do Ramal do Apodi e está localizada em área rural do município de Cajazeiras, a elevada quantidade de esgoto não coletado, incluindo a totalidade da população rural e parte da população urbana, representa um fator de vulnerabilidade para os recursos hídricos locais.

Em períodos chuvosos, o escoamento superficial pode transportar matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos para os corpos hídricos conectados ao sistema, comprometendo a qualidade da água destinada ao abastecimento humano.

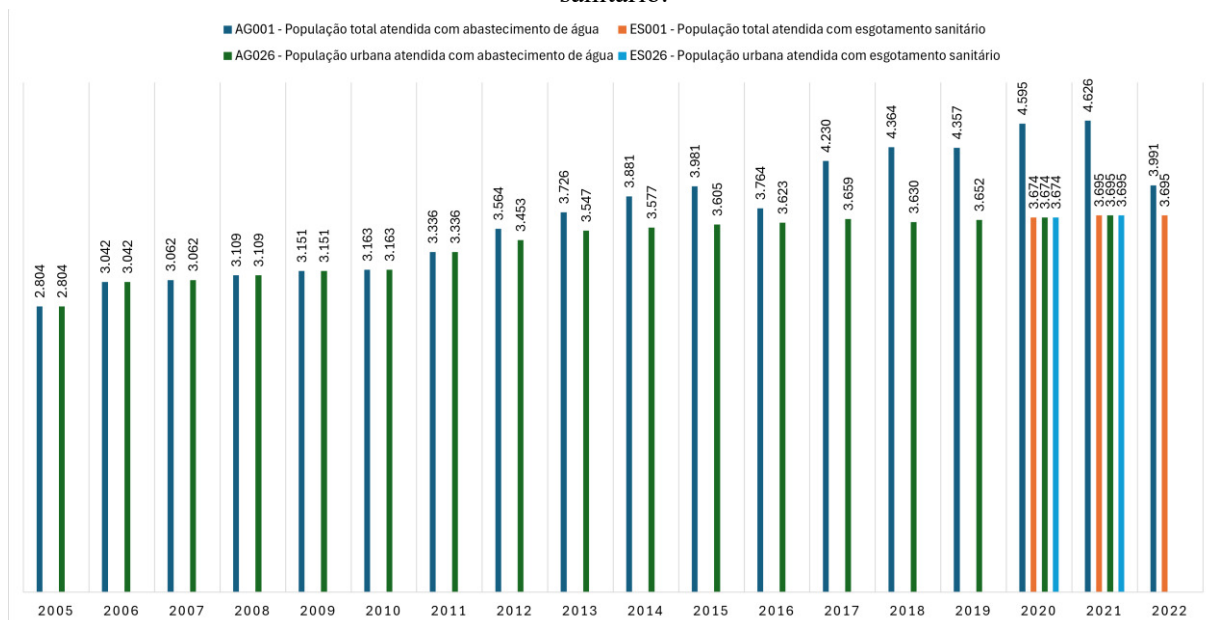
4.2 Cachoeira dos Índios – PB

Cachoeira dos Índios diferentemente de Cajazeiras, apresentou baixa cobertura de ambos os serviços: 43,6% para abastecimento de água e 40,4% para esgotamento sanitário (Figura 7). Esse resultado não deve ser interpretado como equilíbrio positivo, mas como insuficiência simultânea da infraestrutura hídrica e sanitária. Mais da metade da população permanece sem acesso adequado aos dois serviços, o que amplia a vulnerabilidade social e ambiental do município.

A série histórica apresentada na Figura 6 evidencia algumas lacunas de informações nos indicadores de esgotamento sanitário. Entre os anos de 2005 e 2019, não foram identificados registros para os indicadores ES001 – população total atendida com esgotamento sanitário e ES026 – população urbana atendida com esgotamento sanitário. Dessa forma, não é possível estabelecer, para esse intervalo, uma evolução contínua da cobertura do esgotamento sanitário a partir desses indicadores. A partir de 2020, passam a ser apresentados registros para os indicadores ES001 e ES026, permitindo uma análise mais específica da população atendida com esgotamento sanitário. Entretanto, no ano de 2022, não foram identificados valores para os indicadores AG026 – população urbana atendida com abastecimento de água e ES026 – população urbana atendida com esgotamento sanitário, permanecendo disponíveis os dados

referentes à população total atendida. Essa limitação deve ser considerada na interpretação dos indicadores, especialmente nas comparações entre população total e população urbana.

Figura 7 – Cachoeira dos Índios – PB, população atendida com abastecimento de água e esgotamento sanitário.

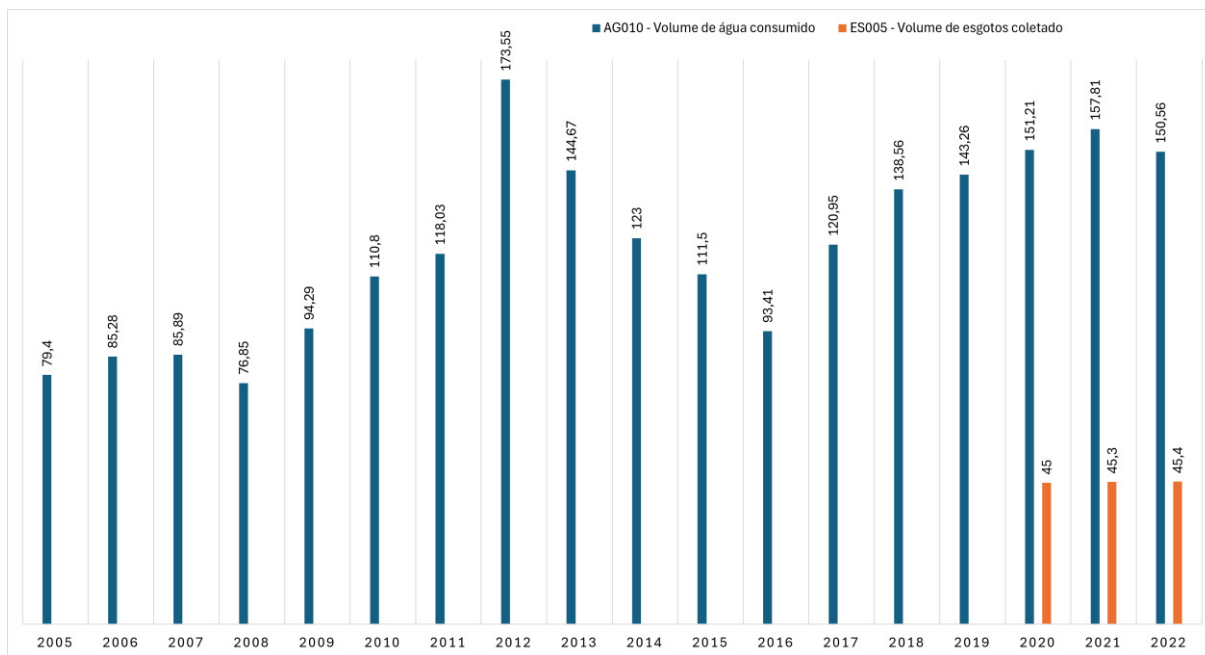


Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

Em relação aos volumes, observa-se também uma limitação na série histórica apresentada na Figura 8. Entre 2005 e 2019, não foram identificados registros para o indicador ES005 – volume de esgotos coletado, enquanto o indicador AG010 – volume de água consumido apresenta valores ao longo de todo o período. Os registros de volume de esgoto coletado passam a aparecer a partir de 2020, restringindo a comparação direta entre o volume de água consumida e o volume de esgoto efetivamente coletado aos anos em que ambos os indicadores estão disponíveis.

Em 2022, o município consumiu 150,56 mil m³ de água, o que corresponde a uma geração estimada de 120,45 mil m³ de esgoto, considerando o coeficiente de retorno de 0,8 adotado neste estudo conforme FUNASA (2015). Desse volume potencialmente gerado, 45,4 mil m³ foram coletados, correspondendo a aproximadamente 37,69% do volume estimado (Figura 8).

Figura 8 – Cachoeira dos Índios – PB, volume de água consumida e esgoto coletado.



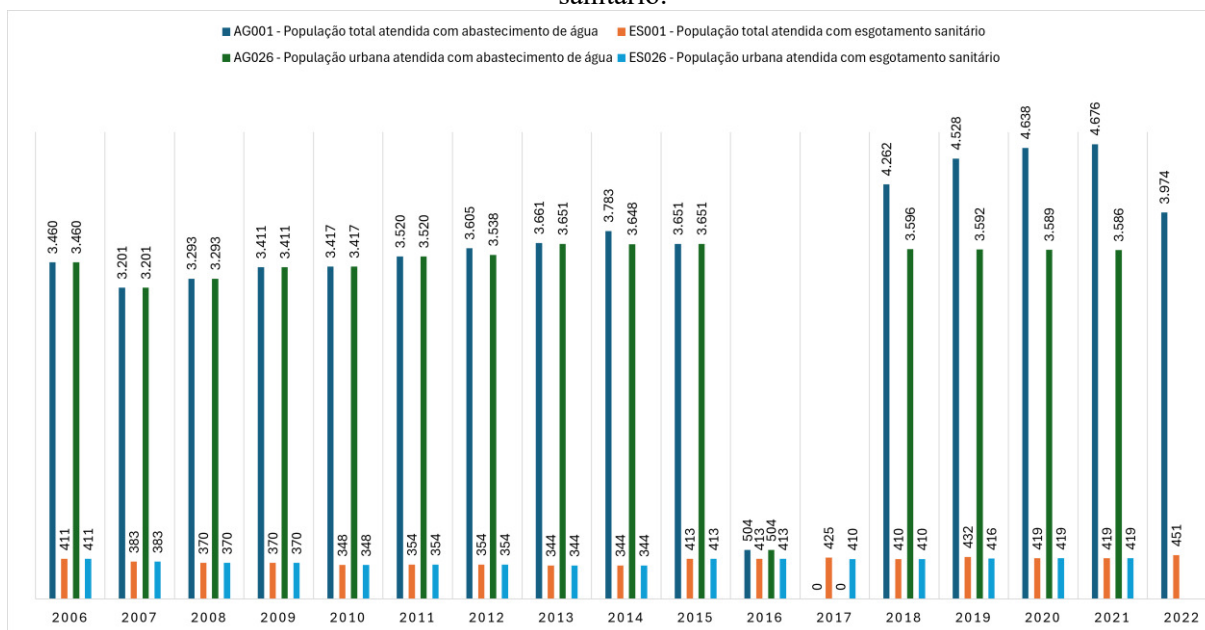
Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

Embora esse percentual seja superior ao observado em Cajazeiras, ainda está muito distante da meta de universalização do esgotamento sanitário prevista pelo Marco Legal do Saneamento Básico, que estabelece o atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgoto até 2033 (Brasil, 2020b). A Barragem Tambor/Redondo, localizada no município, recebe influência direta das condições de saneamento do entorno, especialmente em áreas rurais onde predominam soluções individuais de disposição de efluentes.

4.3 José da Penha – RN

José da Penha apresentou cobertura de abastecimento de água de 68,5% e cobertura de esgotamento sanitário de apenas 7,8% (Figura 9), configurando o cenário mais crítico em termos de discrepância entre disponibilidade de água e coleta de esgoto.

Figura 9 – José da Penha – RN, população atendida com abastecimento de água e esgotamento sanitário.



Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

No ano de 2017, os indicadores AG001 – população total atendida com abastecimento de água e AG026 – população urbana atendida com abastecimento de água apresentam valor igual a zero na base de dados consultada. Já em 2022, não foram identificados registros para os indicadores ES026 – população urbana atendida com esgotamento sanitário e AG026 – população urbana atendida com abastecimento de água.

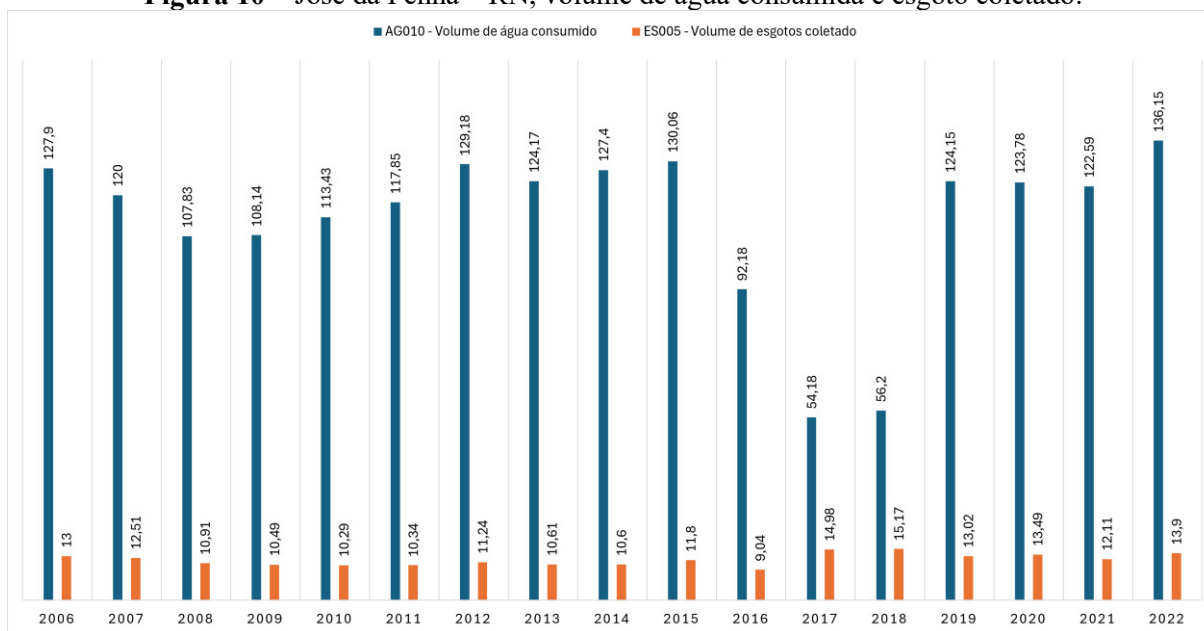
Em 2022, o município consumiu 136,15 mil m³ de água, gerando estimativamente 108,92 mil m³ de esgoto. Apenas 13,9 mil m³ foram coletados, o que corresponde a 12,76% do volume potencialmente gerado (Figura 10). Assim, aproximadamente 87,24% do esgoto produzido pela população não é captado pelo sistema público.

A situação assume maior gravidade devido às características construtivas do trecho do Ramal do Apodi em José da Penha. O canal nessa região é predominantemente enrocado, sendo executado por meio de detonação do solo e enrocamento com rochas de 3ª categoria. Diferentemente de canais totalmente revestidos em concreto, o enrocamento apresenta maior interação com o maciço e com as discontinuidades geológicas do terreno.

Segundo Pádua e Campos (2020), em aquíferos fraturados a circulação da água ocorre predominantemente através das fraturas e discontinuidades do maciço rochoso, que funcionam como vias preferenciais de fluxo subterrâneo. Uma vez que a abertura de fraturas e a maior conectividade hidráulica do maciço podem favorecer processos de percolação e infiltração de líquidos no subsolo. Como as barragens e estruturas do sistema estão localizadas próximas a sítios e núcleos habitacionais do município, o lançamento inadequado de resíduos sólidos e efluentes domésticos pode potencializar a infiltração de contaminantes através do solo e das discontinuidades rochosas, representando risco à qualidade da água armazenada.

Esse processo representa risco potencial de infiltração de resíduos e contaminação do subsolo, podendo afetar a qualidade da água armazenada nas estruturas do Ramal do Apodi. A proximidade entre as áreas habitadas e as barragens aumenta a importância do controle sanitário do entorno, uma vez que a contaminação subterrânea é de difícil detecção e remediação.

Figura 10 – José da Penha – RN, volume de água consumida e esgoto coletado.



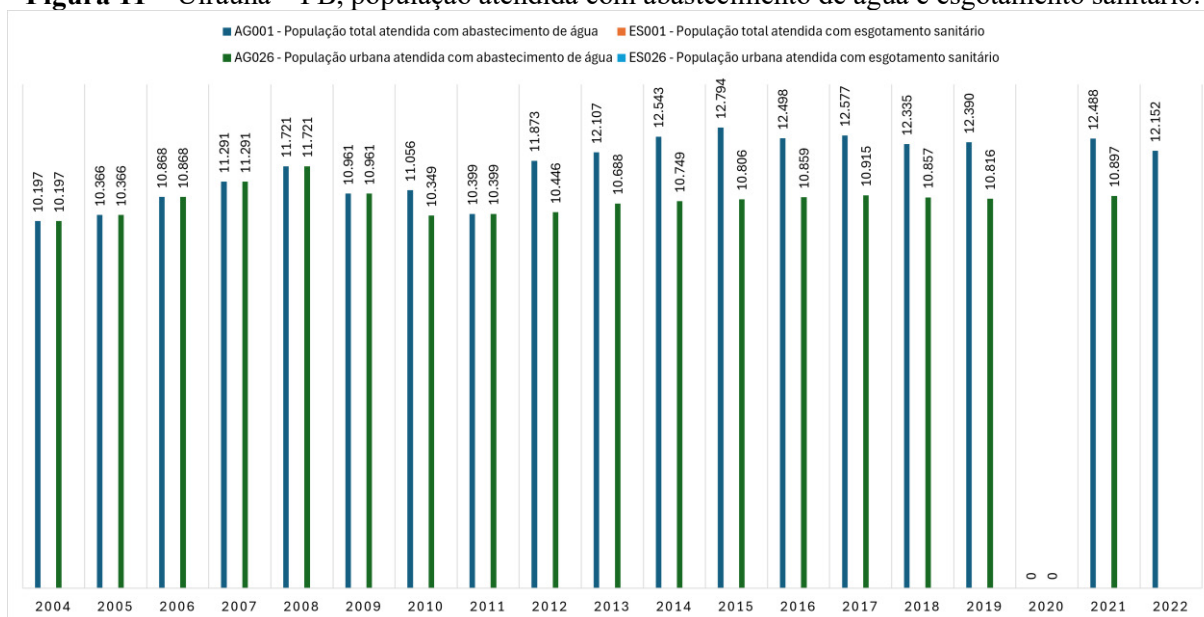
Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

Além disso, José da Penha abriga a Barragem Angicos, última estrutura do sistema antes da distribuição regional da água. Dessa forma, fontes locais de poluição podem comprometer não apenas a qualidade ambiental do município, mas também a segurança hídrica dos usuários localizados a jusante da estrutura.

4.4 Uiraúna – PB

O Município de Uiraúna possui uma condição singular dentro da área de influência do Ramal do Apodi: o canal atravessa diretamente a área urbana da cidade. Essa característica aumenta significativamente a interação entre a infraestrutura hidráulica e as atividades urbanas. Em 2022 cerca de 81,4% da população era atendida pelo sistema de abastecimento de água (Figura 11).

Figura 11 – Uiraúna – PB, população atendida com abastecimento de água e esgotamento sanitário.



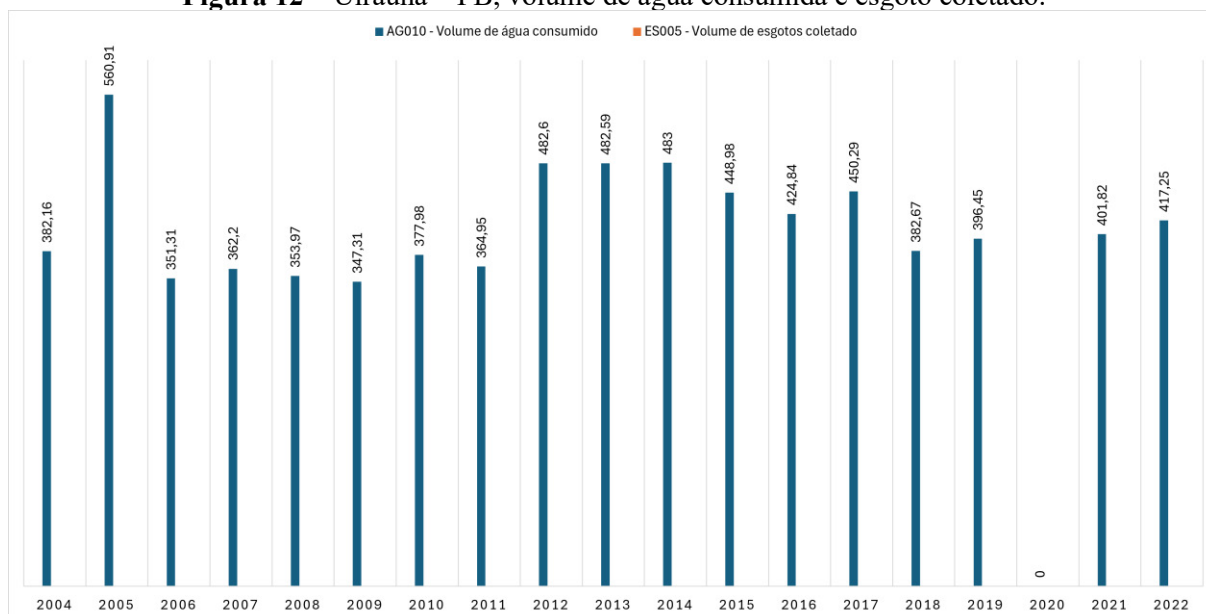
Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

A série histórica apresentada na Figura 11 apresenta limitações quanto à disponibilidade de informações sobre o esgotamento sanitário. Entre os anos de 2004 e 2022, não foram identificados registros para os indicadores ES001 – população total atendida com esgotamento sanitário e ES026 – população urbana atendida com esgotamento sanitário. Além disso, no ano de 2020, os indicadores AG001 – população total atendida com abastecimento de água e AG026 – população urbana atendida com abastecimento de água apresentam valores iguais a zero na base de dados consultada. Dessa forma, os valores zerados e as lacunas de informações devem ser considerados na interpretação da série histórica, não sendo possível, somente a partir desses dados, afirmar a inexistência efetiva dos serviços nos períodos correspondentes.

A ausência de informações consolidadas sobre os indicadores de esgotamento sanitário dificulta a avaliação da cobertura do serviço e da quantidade de esgoto potencialmente não coletada no município, limitando a análise da relação entre as condições de saneamento e a área urbana atravessada pelo canal.

Em relação aos volumes apresentados na Figura 12, entre os anos de 2004 e 2022 não foram identificados registros para o indicador ES005 – volume de esgotos coletado. Para o indicador AG010 – volume de água consumido, observa-se que, no ano de 2020, o valor registrado foi igual a zero na base de dados consultada. Essas limitações restringem a possibilidade de estabelecer uma série histórica contínua entre o volume de água consumido e o volume de esgoto coletado no município.

Figura 12 – Uiraúna – PB, volume de água consumida e esgoto coletado.



Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

A literatura sobre gestão da drenagem urbana demonstra que as águas urbanas devem ser analisadas de forma integrada aos sistemas de esgotamento sanitário, drenagem e manejo de resíduos sólidos, uma vez que a ocupação urbana intensifica a geração e o transporte de poluentes para os corpos hídricos (Tucci, 2012).

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico destaca que os sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas devem prever mecanismos de controle da poluição difusa, do transporte de resíduos sólidos e de sedimentos, especialmente em áreas urbanas consolidadas (ANA, 2025). Assim, estruturas hidráulicas inseridas em áreas densamente ocupadas, como o canal do Ramal do Apodi em Uiraúna, tornam-se mais suscetíveis à influência de lançamentos irregulares de esgoto, descarte inadequado de resíduos e contaminação por águas pluviais urbanas.

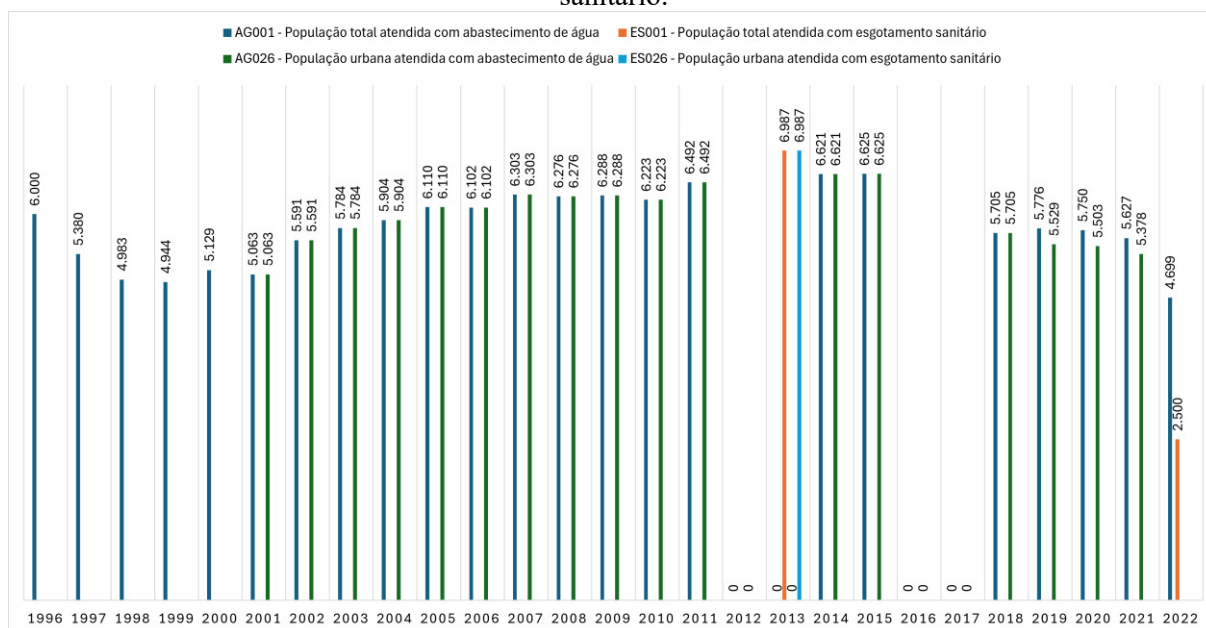
Como o canal passa diretamente dentro da Cidade de Uiraúna e percorre um trecho significativo de 3,382 km, a inexistência de dados de saneamento impede verificar se há infraestrutura suficiente para proteger a estrutura hidráulica contra essas fontes de poluição. Caso existam déficits de coleta de esgoto, o canal pode se tornar receptor indireto de efluentes urbanos, o que representa risco potencial à qualidade da água transportada pelo sistema.

Essa condição é particularmente sensível porque o canal funciona como elemento de condução da água da transposição, e sua contaminação ao longo do trecho urbano pode comprometer a eficiência do sistema e aumentar a necessidade de monitoramento e tratamento.

4.5 Luís Gomes – RN

O Município de Luís Gomes integra a área de influência do Ramal do Apodi e possui relevância estratégica por estar localizado em uma área serrana do Alto Oeste Potiguar, caracterizada por relevo elevado, drenagens de encosta e cursos d'água intermitentes típicos do semiárido. A análise dos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINISA) evidencia que o município apresenta limitações na cobertura de abastecimento de água e, principalmente, no sistema de esgotamento sanitário, onde em 2022 apenas 51,8% da população era atendida com abastecimento de água (Figura 13).

Figura 13 – Luís Gomes – RN, população atendida com abastecimento de água e esgotamento sanitário.



Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

A série histórica apresentada na Figura 13 possui algumas limitações quanto à disponibilidade dos indicadores. Entre 1996 e 2000, não foram identificados registros para os indicadores AG026 – população urbana atendida com abastecimento de água, ES001 – população total atendida com esgotamento sanitário e ES026 – população urbana atendida com esgotamento sanitário. Entre 2001 e 2011, foram disponibilizados dados para os indicadores AG001 – população total atendida com abastecimento de água e AG026, porém não foram identificados registros para ES001 e ES026. No ano de 2012, os indicadores AG001 e AG026 apresentam valores iguais a zero, enquanto não há registros para ES001 e ES026. Em 2013, não foram identificados dados para AG001 e AG026. Nos anos de 2014 e 2015, observa-se novamente a disponibilidade de dados para AG001 e AG026, sem registros para ES001 e ES026. Nos anos de 2016 e 2017, os indicadores AG001 e AG026 apresentam novamente

valores iguais a zero, sem registros para os indicadores de esgotamento sanitário. Entre 2018 e 2021, os dados de AG001 e AG026 voltam a ser apresentados, enquanto permanecem ausentes os registros de ES001 e ES026. Por fim, em 2022, não foram identificados registros para AG026 e ES026.

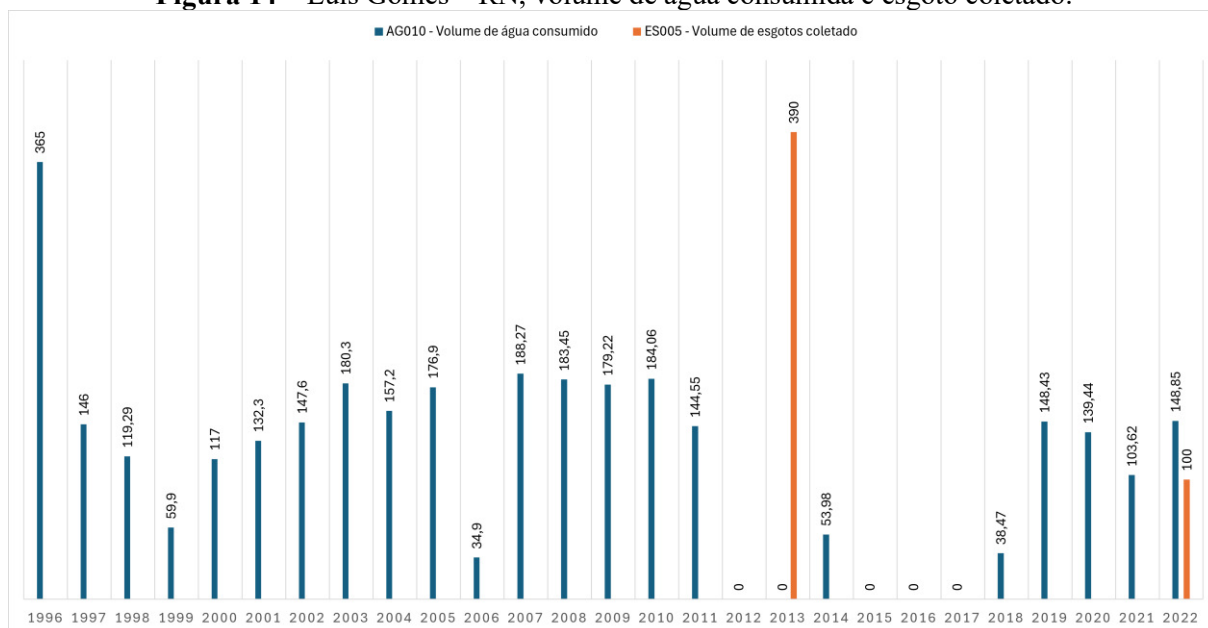
Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2026), municípios com baixa cobertura de coleta e tratamento de esgoto tendem a exercer maior pressão sobre os mananciais locais, especialmente em regiões semiáridas, onde a capacidade de diluição dos poluentes é reduzida. No caso de Luís Gomes, a deficiência sanitária pode comprometer a qualidade das drenagens superficiais que se originam nas áreas serranas e se conectam à rede hidrográfica regional, influenciando indiretamente os corpos hídricos relacionados ao sistema do Ramal do Apodi.

Para complementar a análise, foi aplicado o coeficiente de retorno de 0,8, conforme FUNASA (2015), permitindo estimar o volume potencial de esgoto gerado a partir do consumo de água do município. A diferença entre o volume estimado e o volume efetivamente coletado possibilita avaliar a parcela potencial de efluentes que não é destinada pelo sistema público de coleta.

A análise da Figura 14 também apresenta limitações quanto à disponibilidade dos dados. Não foram identificados registros para o indicador ES005 – volume de esgotos coletado entre 1996 e 2012 e entre 2014 e 2021, sendo observados valores para esse indicador apenas nos anos de 2013 e 2022. Em relação ao indicador AG010 – volume de água consumido, foram registrados valores iguais a zero nos anos de 2012, 2014, 2015, 2016 e 2017. Assim, as lacunas e os valores zerados restringem a possibilidade de estabelecer uma série histórica contínua entre o volume de água consumido e o volume de esgoto coletado no município.

Em 2022, foram registrados aproximadamente 119,08 mil m³ de água consumida, correspondendo a um volume potencial de 95,26 mil m³ de esgoto, considerando o coeficiente de retorno de 0,8 adotado neste estudo. Entretanto, o volume de esgoto coletado informado na base foi de aproximadamente 100 mil m³, resultando em um valor de coleta superior ao volume potencial estimado pelo coeficiente de retorno.

Figura 14 – Luís Gomes – RN, volume de água consumida e esgoto coletado.



Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

Nesse caso, é importante destacar que o volume de esgoto coletado registrado pelo sistema não deve ser diretamente interpretado como percentual do esgoto gerado com base exclusivamente no coeficiente de retorno, uma vez que os indicadores podem apresentar diferenças metodológicas, períodos de referência ou critérios de contabilização distintos. Por esse motivo, os dados de 2022 devem ser utilizados principalmente para caracterizar os volumes registrados no sistema e, quando necessário, comparados com a estimativa obtida pelo coeficiente de retorno.

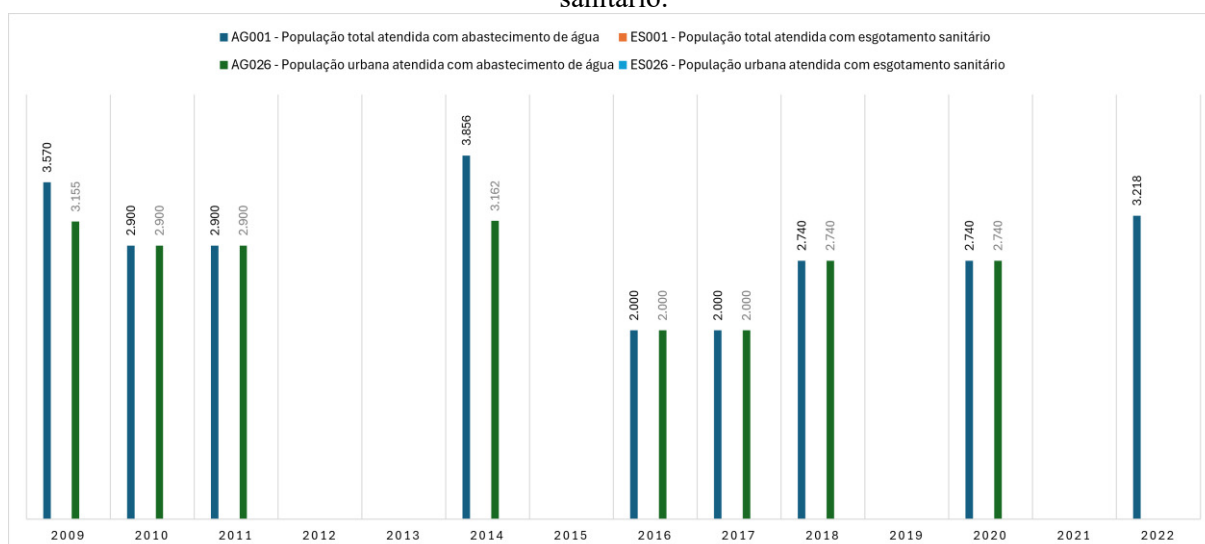
A literatura sobre segurança hídrica (ANA, 2019) destaca que a proteção dos mananciais depende não apenas da disponibilidade de água, mas também do controle das fontes difusas de poluição. Em áreas urbanas e rurais de Luís Gomes, a utilização de sistemas individuais de disposição de esgoto sem controle técnico adequado aumenta o risco de infiltração de contaminantes no solo e de transporte de resíduos por escoamento superficial durante os períodos chuvosos, especialmente em terrenos com declividade acentuada, sabendo-se que o canal percorre cerca de 2,028 km passando no relevo mais baixo do município.

Dessa forma, os resultados indicam que as deficiências de saneamento em Luís Gomes podem contribuir para a vulnerabilidade sanitária da bacia hidrográfica regional associada ao Ramal do Apodi, reforçando a necessidade de expansão da infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto como medida complementar à segurança hídrica proporcionada pela transposição do Rio São Francisco.

4.6 Major Sales – RN

Major Sales apresenta características típicas de municípios de pequeno porte do semiárido nordestino, com forte interação entre áreas urbanas, rurais e as estruturas hidráulicas do Ramal do Apodi. A análise do SINISA demonstra que o município possui cobertura limitada de saneamento básico, especialmente no que se refere à coleta de esgoto (Figura 15). No ano de 2022 cerca de 82,0% da população era atendida com abastecimento de água, porém não há dados sobre sistema de esgotamento sanitário.

Figura 15 – Major Sales – RN, população atendida com abastecimento de água e esgotamento sanitário.



Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

A série histórica apresentada na Figura 15 evidencia importantes lacunas na disponibilidade dos indicadores. Entre os anos de 2009 e 2022, não foram identificados registros para os indicadores ES001 – população total atendida com esgotamento sanitário e ES026 – população urbana atendida com esgotamento sanitário. Além disso, nos anos de 2012,

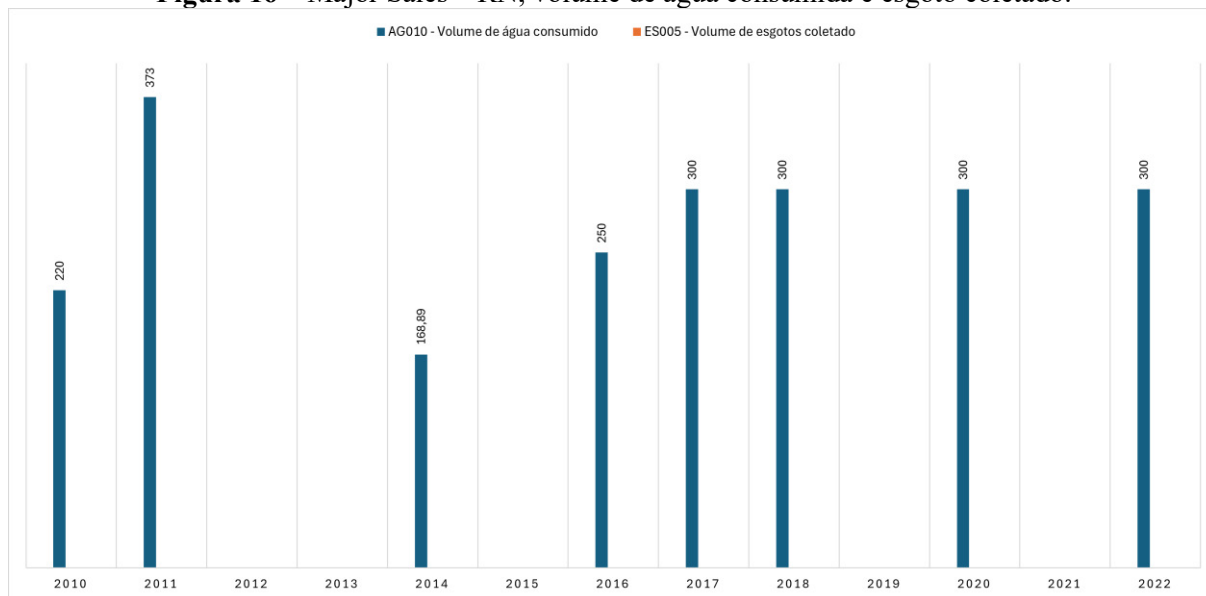
2013, 2015, 2019 e 2021, não foram identificados registros para nenhum dos quatro indicadores apresentados na figura: AG001 – população total atendida com abastecimento de água, AG026 – população urbana atendida com abastecimento de água, ES001 e ES026. Em 2022, foi identificado registro apenas para o indicador AG001, correspondente à população total atendida com abastecimento de água.

A literatura de geotecnia ambiental destaca que estruturas hidráulicas implantadas em áreas sujeitas a diferentes formas de uso e ocupação do solo podem estar mais suscetíveis à infiltração de líquidos contaminantes e à migração de poluentes pelo meio poroso do solo, especialmente quando inexistem barreiras adequadas de impermeabilização e sistemas sanitários eficientes no entorno (Bosco, 2008).

Em Major Sales, a proximidade entre as áreas habitadas e as estruturas do Ramal do Apodi aumenta a importância do monitoramento ambiental e do controle do uso do solo adjacente ao canal, já que é o município onde o trecho do canal enrocado é maior, percorrendo cerca de 8,520 km atravessando o município, passando ao lado da cidade e em sítios próximos. Essa característica amplia a necessidade de atenção às possíveis fontes de poluição existentes no entorno das estruturas hidráulicas.

Em relação aos volumes apresentados na Figura 16, não foram identificados registros para o indicador ES005 – volume de esgotos coletado entre os anos de 2010 e 2022. Para o indicador AG010 – volume de água consumido, também são observadas lacunas nos anos de 2012, 2013, 2015, 2019 e 2021, nos quais não foram identificados registros na base de dados consultada.

Figura 16 – Major Sales – RN, volume de água consumida e esgoto coletado.



Fonte: Autor com utilização dos dados do SINISA (2022).

A ausência de informações sobre o volume de esgoto coletado impede a realização de uma estimativa comparativa entre o volume de água consumida e o esgoto efetivamente coletado para a maior parte da série histórica. Dessa forma, não é possível quantificar, com base exclusivamente nos dados disponíveis, a parcela de esgoto potencialmente não coletada no município. Essa limitação reforça a necessidade de melhoria da disponibilidade e da continuidade dos dados de saneamento para subsidiar o planejamento e o monitoramento das condições ambientais na área de influência do Ramal do Apodi.

Assim, Major Sales deve ser compreendido como um ponto de atenção para a gestão integrada do Ramal do Apodi, não apenas pelas características do trecho enrocado e sua

proximidade com áreas habitadas, mas também pela significativa ausência de informações sobre os serviços de esgotamento sanitário. A ampliação da infraestrutura de saneamento, associada ao monitoramento ambiental e ao controle do uso e ocupação do solo no entorno das estruturas hidráulicas, constitui medida importante para reduzir potenciais fontes de pressão sobre a qualidade da água do sistema.

4.7 Ramal do Apodi

A comparação dos indicadores de abastecimento de água, cobertura de esgotamento sanitário e das características do entorno das estruturas hidráulicas permitiu identificar diferenças nas condições de saneamento e nos fatores que podem contribuir para a ocorrência de impactos sobre os recursos hídricos nos municípios analisados. Enquanto alguns municípios apresentam maior quantidade de esgoto potencialmente não coletado, outros possuem áreas urbanizadas próximas às estruturas do Ramal do Apodi, o que requer maior atenção quanto à disposição e ao direcionamento dos efluentes. Dessa forma, os resultados indicam diferentes condições de exposição a possíveis fontes de contaminação, relacionadas principalmente à insuficiência dos serviços de esgotamento sanitário e à proximidade entre áreas de ocupação e as estruturas hidráulicas. Para sintetizar os principais resultados obtidos na pesquisa, o Quadro 3 apresenta uma comparação entre os municípios estudados e os possíveis fatores de risco sanitário associados ao Ramal do Apodi.

Quadro 3 – Síntese comparativa dos municípios analisados e dos principais riscos sanitários associados ao Ramal do Apodi.

Município	UF	Cobertura do sistema de abastecimento de água (%)	Cobertura do sistema de esgotamento sanitário (%)	Principal risco
Cajazeiras	PB	99,8	18,0	Elevado volume de esgoto não coletado
Cachoeira dos Índios	PB	43,6	40,4	Deficiência simultânea de abastecimento e esgotamento
Uiraúna	PB	81,4	Sem dados	Canal atravessa área urbana com elevada interação antrópica
Luís Gomes	RN	51,8	Sem dados	Drenagens de encosta e fossas individuais em relevo acidentado
Major Sales	RN	82,0	Sem dados	Maior extensão de canal enrocado próxima a áreas habitadas
José da Penha	RN	68,5	7,8	Canal enrocado com potencial infiltração em maciço fraturado

Fonte: Autor (2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram que os municípios analisados apresentam diferenças na cobertura dos serviços de esgotamento sanitário, sendo identificadas deficiências na coleta e no tratamento de esgoto em todos os municípios estudados, essas condições podem comprometer a qualidade da água transportada pelo sistema de transposição. A análise comparativa evidenciou que a expansão do abastecimento de água ocorreu de forma mais rápida que a ampliação da infraestrutura de esgotamento sanitário, criando um desequilíbrio estrutural que aumenta o potencial de lançamento de efluentes no ambiente.

A Cidade de Cajazeiras apresentou cobertura praticamente universal de abastecimento de água, mas baixa cobertura de esgotamento sanitário, resultando em elevado volume de efluentes não coletados. Já Cachoeira dos Índios evidenciou deficiência simultânea de abastecimento e esgotamento, caracterizando fragilidade estrutural dos serviços de saneamento.

O Município de José da Penha apresentou o cenário mais crítico em termos de proporção de esgoto não coletado, associado à presença do canal enrocado executado por detonação do solo e enrocamento com rochas de 3ª categoria, condição que pode favorecer processos de infiltração de resíduos no subsolo. Enquanto Uiraúna destacou-se pela passagem do canal diretamente pela área urbana e pela ausência de dados consolidados de saneamento, o que aumenta a incerteza quanto aos riscos de contaminação do sistema. As Cidades de Luís Gomes e Major Sales também contribuíram para a vulnerabilidade regional devido à baixa cobertura sanitária e à proximidade entre áreas habitadas e as estruturas hidráulicas do Ramal do Apodi.

A aplicação do coeficiente de retorno de 0,8 permitiu estimar o volume potencial de esgoto gerado em cada município e evidenciou que uma parcela significativa dos efluentes produzidos pela população não é captada pelos sistemas públicos de coleta. Esse resultado é particularmente relevante em regiões semiáridas, onde a capacidade de diluição dos poluentes é reduzida e a proteção dos mananciais torna-se essencial para a manutenção da qualidade da água.

A análise das características construtivas do Ramal do Apodi também revelou aspectos importantes para a gestão ambiental do sistema. No trecho de José da Penha, a presença de canal enrocado e de maciços submetidos à detonação pode aumentar a suscetibilidade à infiltração de contaminantes provenientes do entorno das barragens e dos sítios localizados nas proximidades das estruturas. Em Uiraúna, a inserção do canal no tecido urbano amplia a interação com fontes antrópicas de poluição, como lançamentos irregulares de esgoto, resíduos sólidos e drenagem pluvial contaminada.

Dessa forma, a hipótese central da pesquisa foi confirmada: a segurança hídrica do Ramal do Apodi não depende apenas da disponibilidade física de água proveniente da transposição do Rio São Francisco, mas também da qualidade sanitária dos municípios localizados ao longo do sistema. A simples ampliação da oferta hídrica não garante, por si só, a sustentabilidade ambiental do empreendimento, sendo indispensável a existência de infraestrutura adequada de coleta e tratamento de esgoto.

Como implicação prática, os resultados indicam a necessidade de implementação de políticas públicas integradas de saneamento básico, gestão dos recursos hídricos, monitoramento ambiental e proteção das estruturas hidráulicas do Ramal do Apodi. Recomenda-se a ampliação da cobertura de esgotamento sanitário nos municípios analisados, associada à implantação de sistemas adequados de tratamento e à adoção de alternativas de reuso de águas residuárias tratadas, especialmente para fins compatíveis com a legislação, como irrigação, usos urbanos não potáveis e atividades produtivas. O reuso pode contribuir para reduzir o lançamento de efluentes no ambiente, diminuir a demanda sobre os recursos hídricos e ampliar a disponibilidade de água para atividades que não exigem água potável.

Também se recomenda a intensificação do monitoramento da qualidade da água nos reservatórios e canais, o controle do uso e ocupação do solo no entorno das barragens e a adoção de programas de educação ambiental voltados às comunidades próximas às estruturas do sistema. Considerando as características climáticas do semiárido, essas medidas devem ser articuladas a ações de combate à desertificação e de recuperação das áreas degradadas, incluindo a conservação do solo, a proteção da vegetação nativa, o controle de processos erosivos e o uso sustentável da água. A integração dessas estratégias pode contribuir para reduzir a degradação ambiental, melhorar o aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis e fortalecer a sustentabilidade do Ramal do Apodi, promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos para os municípios de sua área de influência.

Entre as limitações do estudo, destaca-se a dependência de dados secundários do SINISA e a ausência de informações consolidadas para alguns municípios, o que restringe análises mais detalhadas sobre a eficiência operacional dos sistemas de saneamento. Assim,

sugere-se que pesquisas futuras realizem campanhas de campo para monitoramento da qualidade da água, investigação de processos de infiltração em trechos enrocados do canal e avaliação da influência direta dos lançamentos urbanos sobre as estruturas do Ramal do Apodi.

Sob a perspectiva da engenharia de infraestrutura hídrica, a degradação da qualidade da água ao longo do Ramal do Apodi pode gerar impactos operacionais relevantes, como aumento da necessidade de coagulação, floculação, desinfecção e limpeza de estruturas hidráulicas, além da intensificação do monitoramento microbiológico dos reservatórios e canais. Assim, investimentos em esgotamento sanitário não representam apenas uma medida de saúde pública, mas também uma estratégia de redução de custos operacionais e de preservação da vida útil do sistema de transposição.

Conclui-se, portanto, que o Ramal do Apodi representa um importante instrumento de ampliação da disponibilidade hídrica para o semiárido nordestino, porém sua efetividade e sustentabilidade a longo prazo dependem da integração entre infraestrutura hídrica e saneamento básico. Sem a expansão da coleta e do tratamento de esgoto nos municípios beneficiados, os ganhos proporcionados pela transposição poderão ser parcialmente comprometidos pela persistência de fontes locais de poluição, reforçando a necessidade de uma abordagem integrada de gestão dos recursos hídricos e do saneamento na região.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **A questão da água no Nordeste: capítulo 5 – A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: usos, balanço hídrico, gestão e desafios**. Brasília, DF: ANA, 2012. Disponível em:

https://www.ana.gov.br/arquivos/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/aQuestaoDaAguaNoNordeste.pdf?utm_source. Acesso em 04 ago. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO-ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). **Conjuntura dos recursos hídricos**.

Brasília, 2026. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em 23 jul. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO-ANA. **Norma de referência da ANA define serviços, atividades e infraestruturas dos serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas**. Brasília, 2025. Disponível em:

<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/norma-de-referencia-da-ana-define-servicos-atividades-e-infraestruturas-dos-servicos-publicos-de-drenagem-e-manejo-de-aguas-pluviais-urbanas>. Acesso em 23 jul. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO-ANA. **Plano nacional de segurança hídrica**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em:

<https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em 23 jul. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO-ANA. Segurança hídrica. *In: Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021*. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/seguranca-hidrica>. Acesso em 23 jul. 2026.

ARAÚJO, S. M. S. A seca e suas consequências sobre os recursos do semiárido brasileiro.

Revista de Geociências do Nordeste, v. 7, n. 1, p. 52-58, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n1ID21251>.

BRASIL. **Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS)**: história. Brasília, 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/historia>. Acesso em 23 jul. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021b. Disponível em: https://www.unirio.br/dmp/nutricao-integral/legislacao/PORTARIA%20GM_MS%20No%20888-%20DE%204%20DE%20MAIO%20DE%202021.pdf/view. Acesso em 23 jul. 2026.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: Câmara dos Deputados, 2007. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-norma-atualizada-pl.pdf>. Acesso em 23 jul. 2026.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Entenda o projeto**. Brasília, 2020a.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em 23 jul. 2026.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Avançam obras do Ramal do Apodi, que vai levar água da Paraíba ao Rio Grande do Norte e ao Ceará**. Brasília: MIDR, 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SINISA: **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**: 2022. Brasília: SNSA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa>. Acesso em: 20 jun. 2025.

BRASIL ESCOLA. **Rio São Francisco**. 2024. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/brasil/rio-sao-francisco.htm>. Acesso em 23 jul. 2024.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

CARVALHO, A. T. F. Caracterização climática da quadra chuvosa em Apodi, semiárido brasileiro, nos anos de 2013 a 2017. **Revista Geografia em Atos**, v. 2, n. 17, p. 4-23, 2020. DOI: 10.35416/geoatos.v2i17.7116.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO (CBHSF). **A Bacia**. Belo Horizonte: CBHSF, 2026. Disponível em: https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/?utm_source. Acesso em 04 ago. 2026.

DEMO, P. **Pobreza política, a pobreza mais intensa da pobreza brasileira**. Campinas, SP: Armazém do Ipê, 2006.

EMBRAPA. A agricultura e a pecuária na Caatinga. 2026. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/territorial/bioma-caatinga/desertificacao/agricultura-na-caatinga>. Acesso em 23 jul. 2026.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de saneamento**. 4. ed. Brasília: FUNASA, 2015. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/541>. Acesso em 23 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Bacias e divisões hidrográficas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil.html>. Acesso em 23 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Cidades e estados do Brasil: panorama**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em 23 jul. 2026.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento e doenças de veiculação hídrica: ano base 2019**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2022. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/saneamento-e-doencas-de-veiculacao-hidrica-ano-base-2019/>. Acesso em 23 jul. 2026.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Universalização do saneamento até 2033 deve gerar benefícios socioeconômicos de R\$ 34,3 bilhões ao Rio Grande do Sul**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2023. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/05/Release_Beneficios-Economicos_RS.pdf. Acesso em 23 jul. 2026.

ENGEORPS; HARZA. **Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional: Relatório R32 – Relatório Síntese de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental**. São Paulo: ENGEORPS/HARZA, 2000. 330 p. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/arquivos/pisf/r32-sintese.pdf?utm_source. Acesso em: 04 ago. 2026

EXMAN, F. **Ibama autoriza transposição do São Francisco**. Rio de Janeiro: JB ONLINE, 23 mar. 2007. Disponível em: <https://www.jb.com.br/economia/noticias/2007/03/23/ibama-autoriza-transposicao-do-sao-francisco.html>. Acesso em 23 jul. 2023.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SCARANO, F. R.; SILVA, J. M. C. da. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 70, n. 4, p. 10–13, 2018. Disponível em: https://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000400009&lng=pt&tlng=pt. Acesso em 23 jul. 2026.

MARTINS, F. D. Conhecimento científico, instituições e o rio São Francisco (1850-1948). **Revista Brasileira da História da Ciência**, v.16, n. 1, 2023. Disponível em: <https://rbhciencia.emnuvens.com.br/revista/article/view/850>. Acesso em 23 jul. 2026.

MORAIS, H. A. R.; PAIVA, J. A.; SOUSA, W. J. Avaliação do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC): eficácia, eficiência e efetividade nos territórios do Rio Grande do Norte (2003/2015). **Revista de Políticas Públicas**, v. 21, n.1, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18764/2178-2865.v21n1p133-158>.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Rio São Francisco**. 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/rio-sao-francisco.htm>. Acesso em 23 jul. 2026.

PÁDUA, A. I. de; CAMPOS, J. E. G. Determinação das condições de circulação em aquíferos fraturados com auxílio de eletrorresistividade e perfilagem ótica: estudo de caso em Petrolina, PE. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 1, p. 138–150, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/34101>. Acesso em 23 jul. 2026.

PEREIRA, A. **Rio São Francisco**. 2024. Disponível em: <https://conhecapiranhas.com.br/2024/07/05/rio-sao-francisco-2/>. Acesso em 23 jul. 2026.

PIRES, A. P. N. Estrutura e objetivos da transposição do rio São Francisco: versões de uma mesma história. **GEOUSP espaço e tempo**, v. 23, n. 1, 2019. Disponível em: <https://revistas.usp.br/geousp/fr/article/view/122366>. Acesso em 23 jul. 2026.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Transposição do Rio São Francisco**. 2024. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/transposicao-do-rio-sao-francisco>. Acesso em 23 jul. 2026.

SANT, L. D. **Transposição do Rio São Francisco: impacto, importância e como pode cair nos vestibulares**. Estratégia Vestibulares 2022. Disponível em: <https://vestibulares.estrategia.com/portal/atualidades-e-dicas/transposicao-sao-francisco/>. Acesso em 23 jul. 2026.

SOUZA, R. C. de A.; RAMOS, A. R. N. Rio São Francisco: cultura, identidade e desenvolvimento. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, 2010. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/view/1239>. Acesso em 23 jul. 2026.

SUÇUARANA, M. da S. **Rio São Francisco**. 2024. Disponível em: <https://www.infoescola.com/hidrografia/rio-sao-francisco/>. Acesso em 23 jul. 2026.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO-SNIS. Diagnóstico temático: serviços de água e esgoto 2023. Brasília: Ministério das Cidades, 2024.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL; IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, n. 48). Disponível em: <https://www.cepal.org/pt-br/publicacoes/38004-gestao-drenagem-urbana>. Acesso em 23 jul. 2026.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

Documento Digitalizado Restrito

TCC VERSÃO COMPLETA

Assunto:	TCC VERSÃO COMPLETA
Assinado por:	Silvana Pedrosa
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Silvana Pedrosa Lima, DISCENTE (202122200030) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 19/08/2026 00:43:22.

Este documento foi armazenado no SUAP em 19/08/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1956551
Código de Autenticação: 03ad164111

