



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA O REABASTECIMENTO DE  
ÁGUA EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA POR EVENTOS  
HIDROLÓGICOS**

Ariane Kwiatkowski Scheffer

Lajeado/RS, junho de 2025

Ariane Kwiatkowski Scheffer

**AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA O REABASTECIMENTO DE  
ÁGUA EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA POR EVENTOS  
HIDROLÓGICOS**

Projeto de monografia apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa Ma. Sofia Royer Moraes

Lajeado/RS, junho de 2025.

Ariane Kwiatkowski Scheffer

**AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA O REABASTECIMENTO DE  
ÁGUA EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA POR EVENTOS  
HIDROLÓGICOS**

A banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Profa Ma. Sofia Royer Moraes – orientadora  
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Profa Carolina Becker Porto Fransozi  
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Sra. Renata Rossoni  
Ma Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Lajeado/RS, junho de 2025.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha orientadora Prof. Sofia Royer por embarcar nesse desafio comigo e por dedicar seu tempo e paciência para orientar nesse trabalho de conclusão.

A todos os professores da Univates que contribuíram com seus conhecimentos durante todo o curso e foram essenciais nessa minha jornada.

Aos colegas que se tornaram amigos e que juntos chegamos ao final dessa etapa cheia de desafios.

E sem dúvida a minha família, que é minha base, minha força e minha fortaleza. Em especial ao meu marido Rogério que em meio a esse turbilhão de sensações e novidades, da gravidez em meio ao TCC, foi um apoio essencial para me manter no foco e na disciplina e me trazer o acolhimento e carinho de que tanto precisava.

Aos meus pais que dedicaram seu tempo a me ajudar nessa tarefa difícil da maternidade ao cuidar do meu bebê para poder me dedicar ao TCC.

Ao meu menino lindo, Heitor, que esteve comigo em cada passo desta jornada, primeiro crescendo em meu ventre, e depois, aconchegado em meus braços. Sua presença foi minha maior inspiração, minha força silenciosa e o motivo mais puro da minha dedicação. Este trabalho é, também, para você.

## RESUMO

O Vale do Taquari sofreu com consecutivas inundações registradas em setembro e novembro de 2023 e a mais catastrófica que atingiu grande parte do estado em maio de 2024. Esse evento extremo comprometeu severamente os sistemas de abastecimento de água, deixando milhares de pessoas desassistidas por vários dias. Diante desse cenário, essa monografia tem como objetivo propor soluções técnicas, resilientes e adaptativas que garantam a continuidade do acesso à água potável em situações de emergência, com foco na realidade do município de Cruzeiro do Sul /RS. A metodologia adotada consistiu na realização de um diagnóstico local, com levantamento dos impactos provocados pelo desabastecimento durante as enchentes de abril e maio de 2024, identificação das áreas de risco, mapeamento dos recursos hídricos disponíveis, análise das infraestruturas já existentes, análise da vulnerabilidade da infraestrutura existente. A partir desses dados, foram propostas alternativas técnicas para o fortalecimento da segurança hídrica local, levando em consideração uma análise técnico-econômicas das alternativas para implementação faseada e integrada das alternativas, priorizando soluções de menor custo e maior rapidez inicial, evoluindo gradualmente para maior autonomia. A curto prazo aproveitamento de poços artesianos fora da área inundável e ampliação de reservatórios para reserva de emergência, uma vez que estes possuem vazão suficiente para suprir a demanda da população, inclusive em situações de contingência. A médio prazo, como o aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis por meio de cisternas, a longo prazo avaliação da viabilidade de estação de tratamento de água (ETA) própria, tendo em vista que 87% do abastecimento de água do município é proveniente da ETA de Lajeado ou wetlands, reforçando a importância de políticas públicas que promovam uso racional da água potável, incentivando o reuso em novos empreendimentos, assim como campanhas de conscientização da população para uso racional da água. Outras soluções sustentáveis também foram abordadas, como o incentivo à preservação de nascentes através de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), garantindo a manutenção das fontes hídricas em propriedades rurais. Todos os sistemas analisados demonstraram viabilidade técnica e operacional, podendo ser implementados conforme a escala de prioridade e disponibilidade de recursos do município. Conclui-se, portanto, que a segurança hídrica em cenários de emergência exige um conjunto de ações integradas, que envolvam aspectos técnicos, ambientais, legais, sociais e financeiros. Embora algumas soluções dependam de investimentos significativos, seu planejamento e gradual implementação são essenciais para aumentar a resiliência dos sistemas urbanos de abastecimento e garantir o acesso à água como um direito fundamental, mesmo em contextos adversos.

**Palavras-chave:** resiliência hídrica, inundações, água potável, desabastecimento, alternativas de abastecimento.

## ABSTRACT

The Taquari Valley experienced a series of severe floods in September and November 2023, followed by the most catastrophic event in May 2024, which affected a large portion of the state. These extreme events severely compromised water supply systems, leaving thousands of people without access to potable water for several days. In response to this context, this monograph aims to propose technical, resilient, and adaptive solutions to ensure the continuity of access to drinking water during emergencies, with a focus on the municipality of Cruzeiro do Sul, RS. The methodology involved a local diagnostic study, including an assessment of the impacts caused by water supply disruption during the floods of April and May 2024, identification of risk areas, mapping of available water resources, and analysis of the existing infrastructure and its vulnerabilities. Based on these findings, technical alternatives were proposed to strengthen local water security, considering a techno-economic analysis to support a phased and integrated implementation strategy. The approach prioritizes low-cost and rapid-response solutions in the short term, gradually progressing toward greater autonomy. Short-term measures include the use of artesian wells located outside flood-prone areas and the expansion of emergency water reservoirs, given their sufficient flow capacity to meet population demand, even in contingency situations. Medium-term strategies involve the use of rainwater harvesting systems (cisterns) for non-potable purposes, while long-term actions include evaluating the feasibility of establishing a local water treatment plant (WTP), as 87% of the municipality's supply currently depends on the Lajeado WTP, or adopting constructed wetlands. The importance of public policies that promote rational water use and incentivize reuse in new developments is also highlighted, along with awareness campaigns to encourage responsible water consumption. Other sustainable solutions addressed include the conservation of water sources through Payment for Environmental Services (PES), ensuring the protection of springs in rural properties. All analyzed systems demonstrated technical and operational feasibility and can be implemented based on municipal resource availability and priority. In conclusion, water security in emergency scenarios requires a set of integrated actions involving technical, environmental, legal, social, and financial aspects. Although some solutions demand significant investment, their planning and gradual implementation are essential to enhance the resilience of urban water supply systems and ensure access to water as a fundamental right, even under adverse conditions.

**Keywords:** water resilience, floods, drinking water, shortages, supply alternatives

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Eventos históricos .....	22
Figura 2 - Índice de atendimento total com rede de água.....	23
Figura 3 - Usos consuntivos setoriais .....	25
Figura 4 - Retirada de água por região .....	26
Figura 5 - Abastecimento urbano de água .....	28
Figura 6 - Escorregamento translacional em Santa Clara do Sul/RS .....	30
Figura 7 - Escorregamento Rotacional em Colinas/RS .....	30
Figura 8 - Fluxo de detritos em Colinas/RS .....	31
Figura 9 - Ponte na BR 386 .....	32
Figura 10 - Cruzeiro do Sul .....	33
Figura 11 - Exemplo de Sistema de Abastecimento de Água .....	34
Figura 12 - Localização de estação elevatória no sistema de abastecimento .....	37
Figura 13 - Esquema de uma ETA convencional .....	38
Figura 14 - Categorias de instalações para abastecimento de água .....	43
Figura 15 - Modelo de cisterna modular .....	47
Figura 16 - Modelo de cisterna subterrânea .....	47
Figura 17 - Modelo de cisterna inox.....	48
Figura 18 - Modelo de cisterna calçadão.....	48
Figura 19 - Sistema de filtração para água potável .....	49
Figura 20 - Aplicação do sistema de filtração .....	50
Figura 21 - Aplicação esgoto tratado.....	52
Figura 22 - ETE Wetlands .....	53
Figura 23 - Metodologia para alternativas de reabastecimento de água em situações de emergência .....	60

Figura 24 - Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul e do município de Cruzeiro do Sul/RS.....	62
Figura 25 - Parâmetros para estimativa de demanda residencial de água .....	67
Figura 26 - Identificação das seções da Calha Parshall.....	73
Figura 27 - Equações de dimensionamento da Calha Parshall .....	74
Figura 28 - Dimensões da calha Parshall - 4' .....	75
Figura 29 - Valores de k e n para equação .....	76
Figura 30 - Número de filtros por vazão .....	79
Figura 31 - Ranking das 10 maiores inundações.....	85
Figura 32 - Precipitação acumulada em 35 dias .....	86
Figura 33 - Gráfico da inundação .....	89
Figura 34 - Hidrografia Cruzeiro do Sul .....	90
Figura 35 - Abastecimento de Água.....	91
Figura 36 - Estrutura existente da Corsan .....	91
Figura 37 - Mapa das cheias no Vale do Taquari.....	92
Figura 38 - Série Histórica em Lajeado.....	93
Figura 39 - Mapeamento dos danos Cruzeiro do Sul .....	93
Figura 40 - Localização dos poços .....	99
Figura 41 - Gráfico do Uso da Água dos Poços .....	100
Figura 42 - Gráfico da Situação dos Poços .....	101
Figura 43 - Localização dos poços na área de inundação.....	102
Figura 44 - Localização da residência e ginásio.....	104
Figura 45 - Relevo da área urbana.....	113
Figura 46 - Local da ETA.....	114

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das áreas atingidas.....	62
Tabela 2 - Boletim sobre o impacto das chuvas no RS .....	87
Tabela 3 - Nível dos principais rios.....	88
Tabela 4 - Dados da Hidrografia de Cruzeiro do Sul .....	90
Tabela 5 - Cálculo de volume e consumo mensal .....	105
Tabela 6 - População de Cruzeiro do Sul .....	108
Tabela 7 - Consumo per capita .....	108
Tabela 8 - Vazões .....	109
Tabela 9 - Vazão máxima e média .....	110
Tabela 10 - Coagulação .....	110
Tabela 11 - Flocculação .....	111
Tabela 12 - Filtração.....	112
Tabela 13 - Desinfecção .....	112
Tabela 14 - Fluoretação .....	113

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Problema de pesquisa.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Evolução do uso da água no mundo.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1 Direito à água .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Legislação brasileira aplicada ao abastecimento de água potável .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Acesso à água potável no Brasil.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Qualidade, quantidade de água e mananciais.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 Eventos extremos hidrológicos .....</b>	<b>29</b>
<b>2.6 Sistemas de Abastecimento de Água.....</b>	<b>33</b>
<b>2.6.1 Manancial.....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.2 Captação.....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.3 Adução .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.4 Estações Elevatórias .....</b>	<b>36</b>
<b>2.6.5 Estações de Tratamento de Água .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.6 Reservatórios.....</b>	<b>40</b>
<b>2.6.7 Rede de Distribuição .....</b>	<b>41</b>
<b>2.6.8 Perdas em sistemas de abastecimento de água .....</b>	<b>42</b>
<b>2.7 Sistemas descentralizados de abastecimento de Água .....</b>	<b>43</b>
<b>2.7.1 Poços .....</b>	<b>43</b>
<b>2.7.2 Cisternas.....</b>	<b>44</b>
<b>2.7.3 Água de reuso de efluentes.....</b>	<b>51</b>

2.7.4 Pagamento por serviços ambientais (PSA).....	55
2.8 Vulnerabilidades da infraestrutura de abastecimento de água .....	58
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>60</b>
3.1 Caracterização da área de estudo .....	61
3.2 Procedimentos Metodológicos .....	64
3.2.1 Diagnóstico dos Impactos do Desabastecimento.....	64
3.2.2 Caracterização dos Recursos Hídricos e Infraestrutura.....	64
3.2.3 Desenvolvimento de Propostas Alternativas .....	65
3.2.4 Análise técnica-econômica das alternativas .....	83
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>85</b>
4.1 Diagnóstico dos Impactos do Desabastecimento decorrentes de desastres naturais ..	85
4.2 Caracterização dos Recursos Hídricos e Infraestrutura.....	89
4.2.1 Mapeamento dos recursos hídricos.....	89
4.2.2 Diagnóstico das instalações de abastecimento de água existentes.....	90
4.2.3 Mapeamento das áreas sujeitas a inundação .....	92
4.2.4 Análise de Vulnerabilidade do Sistema Atual.....	94
4.3 Alternativas Propostas para Reabastecimento .....	99
4.3.1 Soluções de curto prazo.....	99
4.3.2 Soluções de médio prazo .....	108
4.3.3 Soluções de longo prazo .....	115
4.3.4 Análise técnico-econômica das alternativas .....	119
4.5 Discussão Integrada e Recomendações.....	123
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>126</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>129</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>141</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a sobrevivência humana. Em todo o mundo, o acesso a água suficiente e segura não é apenas uma necessidade natural, mas também um direito humano básico, tal como estabelecido na Declaração Universal dos Direitos Humanos das Nações Unidas (1948), que reconhece o direito à água potável e ao saneamento como direitos fundamentais.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2023), a água é fundamental para a agricultura, pecuária e indústria, constituindo-se como elemento essencial para a economia de diversos países, incluindo o Brasil. Contudo, em diversas partes do mundo, o acesso a esse recurso tem se tornado cada vez mais vulnerável devido a fenômenos climáticos extremos, como secas prolongadas, tempestades intensas e inundações. O desabastecimento de água, em cenários de calamidade, afeta diretamente a saúde pública, o bem-estar social e as condições mínimas de vida da população, tornando-se um problema urgente a ser enfrentado (ANA, 2024).

No Brasil, essa realidade se manifesta de forma particular no Rio Grande do Sul, que tem enfrentado eventos climáticos extremos com crescente frequência e intensidade. De acordo com relatório do Governo do Estado do Rio Grande do Sul (2024), o estado contabilizou na inundação de maio de 2024 um total de 478 municípios atingidos, sendo 78 municípios em estado de calamidade pública e 340 em situação de emergência, abrangendo 9.158 localidades e 206.604 propriedades afetadas, no ápice da inundação 1.056,877 pessoas ficaram sem abastecimento de água.

O Vale do Taquari, em particular, tem enfrentando inundações recorrentes que causaram danos materiais e pessoais irreparáveis. Estes eventos têm evidenciado a fragilidade dos

sistemas de abastecimento de água da região, bem como a ausência de planejamento eficaz e de alternativas viáveis que garantam o fornecimento contínuo desse recurso essencial durante situações de emergência. O município de Cruzeiro do Sul, localizado no Vale do Taquari, foi fortemente impactado pelas enchentes que atingiram a região. Aproximadamente 70% da população local, o que representa cerca de 8.800 pessoas, ficaram temporariamente sem abastecimento de água potável. Esse desabastecimento ocorreu em razão da forte dependência do sistema de tratamento e distribuição da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Lajeado, que teve suas áreas de captação e tratamento inundadas. Além disso, houve o rompimento de importantes redes de distribuição, agravando ainda mais a interrupção no fornecimento e evidenciando a vulnerabilidade da infraestrutura hídrica local.

Diante dessa realidade, torna-se fundamental compreender os impactos do desabastecimento de água em situações de eventos extremos hidrológicos, bem como desenvolver estratégias que possam aumentar a resiliência dos sistemas de abastecimento em comunidades suscetíveis a esses fenômenos.

## **1.1 Problema de pesquisa**

Como garantir o abastecimento contínuo de água potável em municípios suscetíveis a eventos climáticos extremos, considerando os desafios de resiliência urbana e adaptação climática evidenciados pelas inundações recorrentes no Vale do Taquari?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Analisar os impactos do desabastecimento de água potável em situações de emergência decorrentes de desastres naturais, com foco no estudo de caso de Cruzeiro do Sul/RS após as cheias de maio de 2024, e propor um conjunto de soluções estratégicas para aumentar a resiliência do sistema de abastecimento, visando garantir a continuidade do acesso à água potável.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- **Diagnosticar e quantificar os impactos do desabastecimento de água durante as inundações de abril e maio de 2024** no Rio Grande do Sul, para compreender as vulnerabilidades do sistema atual e suas consequências na população;
- **Realizar um levantamento das fontes de água disponíveis na região**, incluindo: Mapeamento dos recursos hídricos existentes; Avaliação da capacidade e eficiência dos sistemas de tratamento; Análise da infraestrutura de distribuição atual e Identificação dos pontos críticos do sistema;
- **Desenvolver propostas de sistemas alternativos de abastecimento** contemplando: Soluções viáveis para captação emergencial; Estratégias de distribuição resilientes; Protocolos de ação para diferentes cenários de emergência;
- **Estabelecer critérios de priorização e implementação das alternativas propostas**, considerando: Viabilidade técnica e econômica; Tempo de implantação; Capacidade de atendimento populacional; Sustentabilidade das soluções.

### 1.3 Justificativa da pesquisa

O Vale do Taquari sofreu com consecutivas inundações registradas em setembro e novembro de 2023 e a mais catastrófica que atingiu grande parte do estado em maio de 2024. Os danos sofridos foram incalculáveis, as perdas materiais e pessoais são irreparáveis. Nesse período, dentre os impactos, está a interrupção dos sistemas de abastecimento de água devido a diversos fatores como, ruptura de redes de abastecimento, falta de energia elétrica, mal funcionamento das bombas que sugam a água do Rio Taquari, insalubridade da água, excesso de entulhos arrastados pela água do rio e principalmente, por não se ter um preparo e alternativas para abastecimento das cidades em situações de calamidade.

Considerando esse problema e a possibilidade de que a situação se torne frequente, devido à falta de estrutura e a inexistência de um plano alternativo, está sendo desenvolvida uma pesquisa com o objetivo de encontrar soluções que atendam os municípios afetados. A pesquisa visa avaliar os pontos onde ocorreram falhas no desabastecimento de água e propor soluções e melhorias para evitar a repetição dessa situação no futuro.

Nesse sentido, espera-se com a aplicação desse estudo, impactos positivos frente a resiliência de reabastecimento de água, pois se trata de um recurso natural essencial, vital e indispensável à vida.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica a seguir tem como finalidade explorar temas, estudos, investigações e procedimentos focados na questão central desse projeto de pesquisa, utilizando pesquisas em livros, artigos e outros trabalhos já publicados, além de normas, constituição e reportagens pertinentes ao assunto em questão.

### 2.1 Evolução do uso da água no mundo

A água tem sido um elemento essencial para a vida humana e o desenvolvimento das civilizações desde os primórdios da história. Como recurso natural indispensável, ela não só sustenta a sobrevivência humana, sendo fundamental para o consumo, a higiene e a produção de alimentos, cabendo ainda destacar que esta desempenhou e ainda o faz, um papel importante na organização social, econômica e política de diversas sociedades ao longo do tempo (Santos e Justina, 2020).

Ao longo da história, o acesso à água foi decisivo para o florescimento de todas as civilizações. As grandes civilizações da antiguidade, como as que se formaram no Vale do Nilo, na Mesopotâmia (entre os rios Tigre e Eufrates) e na bacia do Rio Amarelo na China, surgiram e prosperaram em regiões ricas em água. Os antigos hebreus fixaram seu *habitat* nas terras que correm o rio Jordão. Esses rios não apenas garantiam a irrigação necessária para a agricultura, mas também facilitavam o comércio e a comunicação, permitindo a troca de bens, ideias e cultura entre diferentes regiões (Oliveira, 2020).

Visando a atender as necessidades de água para a população, como irrigação de culturas agrícolas e consumo, as primeiras obras de abastecimento de água foram construídas. Brevemente elencando alguns fatos históricos, surgiram na Mesopotâmia e Egito onde canais de irrigação foram construídos e ainda existem. Entre 1700 – 1450 A.C. na região da ilha de Creta, foi desenvolvido um sistema de transporte de água em tubulações pressurizadas. Onde hoje está localizada a Turquia, são encontrados sistemas de abastecimento de água incluindo tubulações, canais, túneis, sifões invertidos, aquedutos, reservatórios, cisternas e barragens, construídos entre 2000 – 200 A.C. Na época dos romanos, 100 D.C., eles construíram vários aquedutos, trazendo água de fontes, pois era de melhor qualidade do que dos rios e não precisavam ser elevadas para níveis mais altos (Tsutiya *apud* Mays, 2000).

Em Londres 1237, foram construídos os primeiros sistemas de abastecimento de água encanada utilizando tubos de chumbo. Na cidade de Boston, em 1652, uma adutora de ferro foi construída e em 1664 na França, uma adutora de 22 km de ferro fundido foi confeccionada para abastecer o Palácio de Versailles, a tubulação permanece em serviço. Já nos Estados Unidos no estado da Pensilvânia o abastecimento de água incluía bombas movidas a cavalos e a distribuição era feita por tubulações de ferro fundido (Netto, 1970).

Mauro (2014), cita que a água também influenciou profundamente a geopolítica. Ao longo da história, o controle sobre recursos hídricos foi frequentemente motivo de conflitos entre povos e nações. A posse de rios, lagos e outras fontes de água conferia poder e prestígio a civilizações, que usavam esses recursos para garantir a segurança alimentar, controlar rotas comerciais e fortalecer suas fronteiras.

### **2.1.1 Direito à água**

O direito à água de qualidade é um direito humano fundamental e universal, é um recurso essencial para qualidade de vida e saúde humana, pois serve de insumo a produção agrícola, pecuária, industrial, indispensável para manutenção dos ciclos hidrológicos que mantém em equilíbrio os ecossistemas. Para garantir o direito à água, é necessária a gestão pública das águas, que devem contemplar a proteção das fontes naturais, a conservação da água e seu uso racional e justamente distribuído (Covatti *et al*, 2017).

Devido a essa importância, diversas leis foram criadas para garantir a qualidade, a preservação e a distribuição desse recurso tão precioso. Franco Filho (2022), cita que a Declaração Universal dos Direitos Humanos (DUDH) é um documento marco na história dos direitos humanos. Proclamada pela Assembleia Geral das Nações Unidas em Paris, 10 de dezembro de 1948 estabelece direitos fundamentais que todos os seres humanos possuem, como direito à vida, à dignidade, à igualdade e à segurança.

Embora a declaração não mencione explicitamente o direito à água potável, esse direito está implícito em artigos relacionados ao bem-estar e à qualidade de vida. O direito à água potável é considerado uma extensão do direito a um padrão de vida adequado, que garante a todos o acesso a condições básicas de saúde, alimentação, vestuário e habitação (Franco Filho, 2022). A água limpa e segura é essencial para a saúde e o bem-estar, portanto, a ausência de água potável pode comprometer vários outros direitos fundamentais.

A Organização Nacional das Nações Unidas (2010), cita que reconheceu explicitamente o direito à água potável e ao saneamento como um direito humano, destacando que ele é essencial para a realização de outros direitos humanos. Esse reconhecimento reforça o compromisso de garantir que todas as pessoas tenham acesso a água limpa, suficiente e acessível para uso pessoal e doméstico, sem discriminação.

A Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, realizada em Dublin, em 1992, foi um evento importante que estabeleceu princípios básicos para a gestão das águas. A conferência foi organizada pela ONU e reuniu especialistas e representantes de vários países para discutir questões globais relacionadas à água e ao meio ambiente, com foco na escassez de água e nos desafios de seu manejo. O principal resultado da conferência foi a formulação de quatro princípios de Dublin (1992):

1. A água é um recurso finito e vulnerável: ela é essencial para a vida, o desenvolvimento e o meio ambiente, portanto, deve ser gerida de forma sustentável.
2. A gestão da água deve ser participativa: a tomada de decisões deve envolver usuários, planejadores e responsáveis em todos os níveis, incluindo comunidades locais.
3. As mulheres desempenham um papel central na gestão da água: como principais usuárias e gestoras de água, seu envolvimento é essencial para garantir uma gestão eficaz dos recursos hídricos.

4. A água tem valor econômico: deve ser reconhecida como um bem econômico, além de ser um direito humano, pois seu uso eficiente depende da atribuição de valor apropriado.

Pela Declaração de Dublin (1992), os princípios citados resultaram num conjunto de ações a serem desenvolvidas que procuram acima de tudo preservar a água enquanto garantidora de demais fatores fundamentais que englobam o mundo em que vivemos.

No Brasil o direito à água não está citado de forma explícita na Constituição Federal de 1988. No entanto, o direito à água e saneamento está disposto em vários dispositivos constitucionais que asseguram direitos fundamentais a proteção do meio ambiente, como citados os seguintes artigos da Constituição Federal (1988):

- 1- Artigo 6º - Direitos Sociais: inclui o direito à saúde, moradia e ao meio ambiente, todos interligados ao acesso à água potável.
- 2- Artigo 196 – Direito à Saúde: afirma que à saúde é um direito de todos e dever do Estado. Como a água potável é essencial para prevenir doenças e garantir condições básicas de higiene, sua garantia é uma condição necessária para a promoção da saúde pública.
- 3- Artigo 225 – Direito ao Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: que é essencial para a qualidade de vida. Isso inclui a proteção dos recursos hídricos e o uso sustentável da água, essenciais para a preservação do meio ambiente e da biodiversidade.

A Lei nº 9433 (1977), institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, o principal marco regulatório que estabelece princípios importantes para a gestão das águas no Brasil. A lei ainda cita como princípios, que a água é um bem público, um recurso limitado com valor econômico, a prioridade de uso é o consumo humano e dessedentação de animais em casos de escassez e a gestão da água deve ser descentralizada e participativa.

Após três anos da promulgação da Lei nº 9.433 a Agência Nacional de Águas (ANA) foi criada, como uma forma de garantir a aplicação prática e eficiente dos princípios e instrumentos estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos. Ela atua na execução dos instrumentos de gestão, estabelecendo as normas e diretrizes para garantir o uso sustentável e equitativo dos recursos hídricos, conforme previsto na Lei das Águas (Lei nº 9.984, 2000).

De acordo com Agência Nacional de Águas, Lei nº 9.984 (2000), as principais funções da agência em relação a lei das águas é de fiscalizar a aplicação dos instrumentos de gestão fazendo a cobrança pelo uso da água, garantindo que os usuários que retiram ou poluem a água contribuam financeiramente para sua preservação, assim como, coordenando comitês de bacias hidrográficas, garantindo uma gestão descentralizada e que atenda às realidades regionais, além de monitorar os corpos d'água e gerar informações estratégicas para gestão integrada de recursos hídricos, assegurando a preservação da qualidade e quantidade da água.

Além dessas leis citadas, ainda podemos incluir o Decreto nº 5.440 (2005), que estabelece normas de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e determina padrões de potabilidade, garantindo que água fornecida seja adequada para consumo e a resolução do CONAMA nº 357 (2005), que classifica os corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de garantir padrões da água para diferentes consumos.

## **2.2 Legislação brasileira aplicada ao abastecimento de água potável**

As leis brasileiras que regulamentam o acesso à água e o saneamento básico refletem a importância desse recurso vital para a saúde pública e o desenvolvimento sustentável. No ano de 2007 foi criada a Lei do Saneamento Básico (nº 11.445), que regula o saneamento básico, incluindo o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos. Promove a proteção da saúde pública e a melhoria das condições de vida da população por meio de serviços adequados de saneamento.

Além dessa, o Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) trouxe novas diretrizes e metas para a universalização dos serviços até 2033, visando melhorar a qualidade do atendimento e aumentar os investimentos no setor, onde atribui a Agência Nacional de Saneamento Básico (ANA) a competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico.

O Novo Marco Legal do Saneamento representa um avanço significativo na busca pela universalização do acesso à água e ao esgoto no Brasil. Ao promover a concorrência e facilitar

investimentos, a lei visa melhorar a qualidade dos serviços e garantir que todos os brasileiros tenham acesso a saneamento básico adequado (Lei nº 14.026/2020).

Essas legislações não apenas definem responsabilidades e competências para os diferentes níveis de governo, mas também promovem a participação da sociedade civil e a transparência na gestão dos recursos hídricos. Assim, as leis brasileiras sobre água são fundamentais para assegurar não apenas a disponibilidade do recurso, mas também sua qualidade e sustentabilidade para as futuras gerações.

### 2.3 Acesso à água potável no Brasil

O acesso à água potável é um direito essencial e um determinante fundamental para a saúde e o desenvolvimento humano. No Brasil, a trajetória é complexa e marcada por uma série de eventos históricos que moldaram a realidade atual. Em um breve contexto histórico no Brasil, Netto (1984) cita que a primeira cidade a ter sistema de abastecimento de água foi o Rio de Janeiro, no ano de 1561, onde teve o primeiro poço escavado por Estácio de Sá, em 1673 iniciaram-se as obras de adução de água para cidade. Já em 1750 foi construído o primeiro aqueduto carioca com 13 km. Em São Paulo, no ano de 1842 foi feito o primeiro projeto para o primeiro sistema de abastecimento de água e no Rio de Janeiro aconteceu no ano de 1876.

Além disso, outros eventos históricos aconteceram no Brasil, como consta na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Eventos históricos

Eventos	Ano	Cidade
Primeiro sistema de abastecimento de água	1723	Rio de Janeiro - RJ
Primeira cidade com rede de esgoto	1864	Rio de Janeiro - RJ
Primeira hidrelétrica (para mineração)	1883	Diamantina - MG
Primeira hidrelétrica (para abastecimento público)	1889	Juiz de Fora - MG

Fonte: Da autora, adaptado de Netto (2018, p. 20).

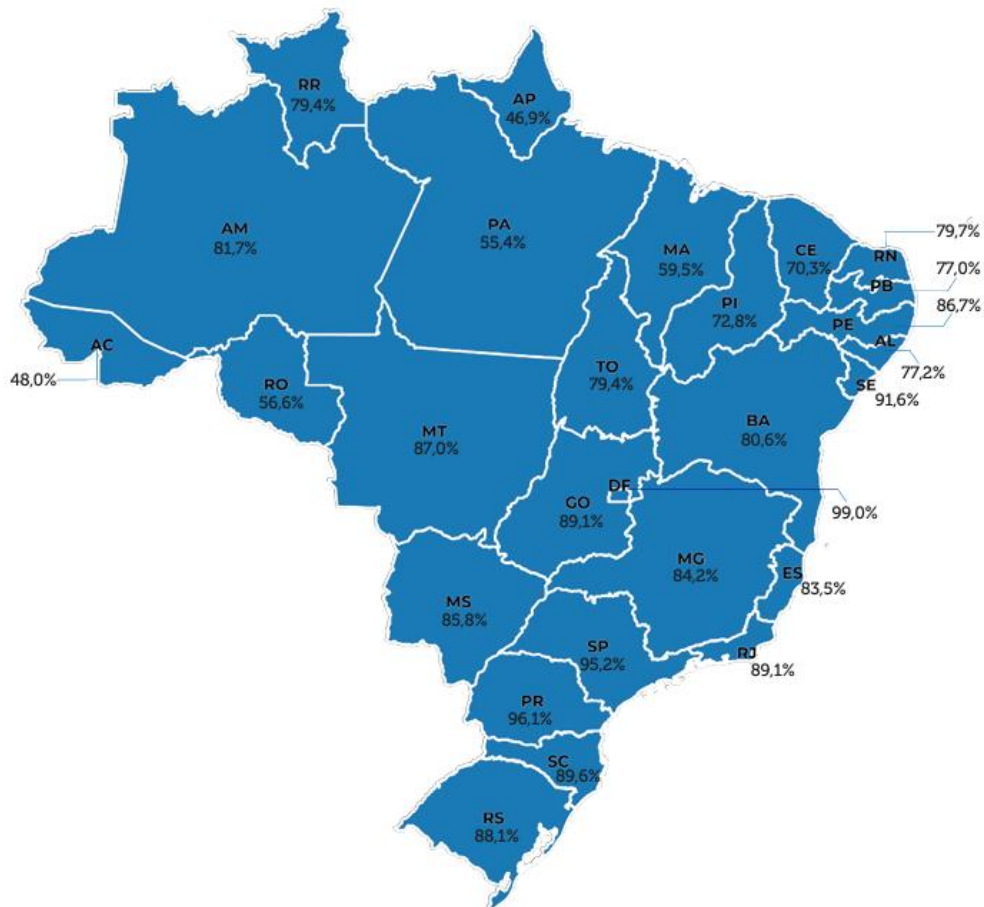
Com a urbanização acelerada, especialmente nas grandes cidades, surgiram problemas de saúde pública devido à falta de saneamento e abastecimento de água. Epidemias de cólera e

febre amarela levaram à necessidade urgente de reformas. O crescimento urbano impulsionou a construção de redes de abastecimento, mas o acesso ainda era desigual, limitado a áreas centrais (Medeiros *et al*, 2021).

A partir da década de 1930, com a industrialização e crescimento urbano, começaram a ser implementados sistemas de abastecimento de água e saneamento. Foi criado a partir do Decreto de Lei nº 1.285 o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (1934), um marco importante devido às crescentes necessidades de gestão dos recursos hídricos e de energia elétrica.

Segundo dados de indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2023), em média 33 milhões de pessoas não têm acesso a água no país, ou seja, 84,2% da população é hoje abastecida com água potável. A Figura 12, nos mostra o índice de atendimento total com rede de água por estado em 2022.

Figura 2 - Índice de atendimento total com rede de água



Fonte: SNIS (2023, p. 34).

Ainda segundo dados do SNIS (2023), o Brasil dispõe de cerca de 12% de água doce do planeta, porém é mal distribuída. A região norte tem grande disponibilidade de água, mas é onde vive a menor parcela da população, em contrapartida, a região sudeste e nordeste, concentra o maior número de habitantes e dispõe de menos de 10% do volume para consumo.

Ao distribuir água para garantir o consumo, os sistemas sofrem perdas na distribuição, que na média, conforme constata-se no SNIS (2023) alcançam 37,8%. A quantidade de água desperdiçada seria suficiente para abastecer mais de 67 milhões de brasileiros em um ano.

Conforme Telles e Costa (2016), o Brasil possui grandes bacias hidrográficas, como a do Amazona, totalizando 80% de nossa produção hídrica, cobrindo 73% do território, contudo, sofremos com escassez de água devido à má distribuição da densidade populacional, onde concentram-se em área de pouca disponibilidade hídrica, além da ineficiente coleta e tratamento da água residual com lançamento de esgoto não tratado em corpos d'água.

O acesso à água potável também envolve garantir a qualidade da água, que ainda é um desafio em várias localidades devido à contaminação e falta de tratamento.

Apesar dos avanços, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos. Constata-se que no Brasil as acentuadas dificuldades relacionadas à água, advêm de problemas ambientais e socioculturais refletidos diretamente nas condições inadequadas de uso e conservação dos recursos naturais, em termos de captação de água e ocupação do solo.

## **2.4 Qualidade, quantidade de água e mananciais**

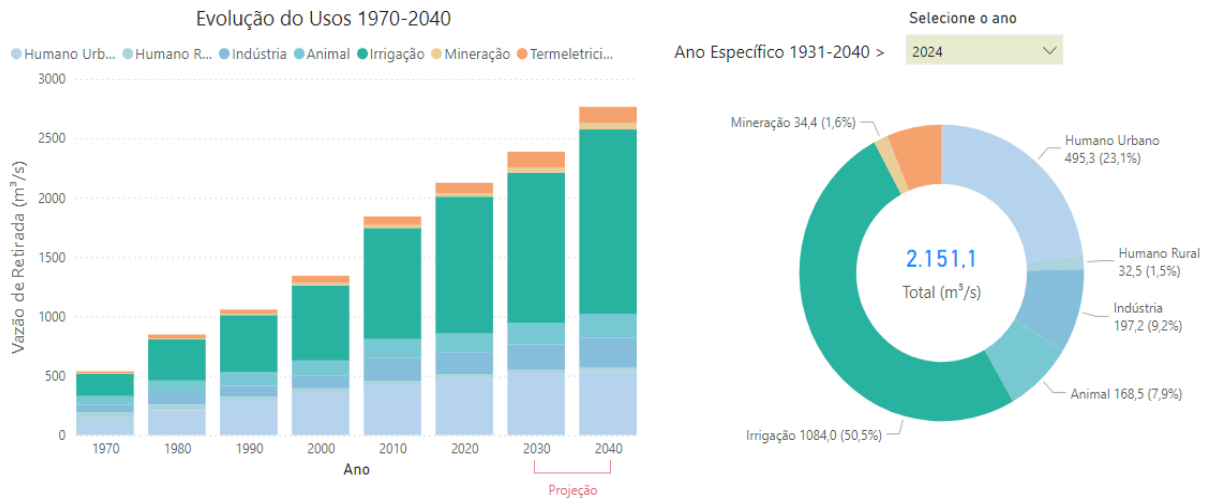
A água é um recurso fundamental para a vida na Terra, desempenhando um papel crucial em diversos aspectos do ambiente e da sociedade, imprescindível para agricultura, indústria e abastecimento urbano. O Brasil dispõe de 12% da água doce do mundo, é um recurso finito, por isso é indispensável preservá-la, controlá-las e se possível acresce-las. Derisio (2012) comenta que alterar a qualidade da água é prejudicial à vida do homem e dos outros seres que dependem dela, portanto deve ser tal que satisfaça as exigências de utilização e saúde pública.

O despejo de esgotos não tratados em corpos d'água, a drenagem de áreas urbanas contaminadas e a disposição inadequada de resíduos sólidos aumentam a presença de poluentes

nas águas superficiais e subterrâneas, que são utilizadas para o abastecimento humano. Nas áreas urbanas, os desafios relacionados ao abastecimento estão ligados ao crescimento populacional, o que resulta em maior demanda por água, além do desperdício e da ocupação desordenada em regiões periféricas. Nas zonas rurais, preocupa-se também com o desmatamento da vegetação que protege os mananciais e o uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes na agricultura, que podem contaminar tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas, segundo dados da SNS (2021).

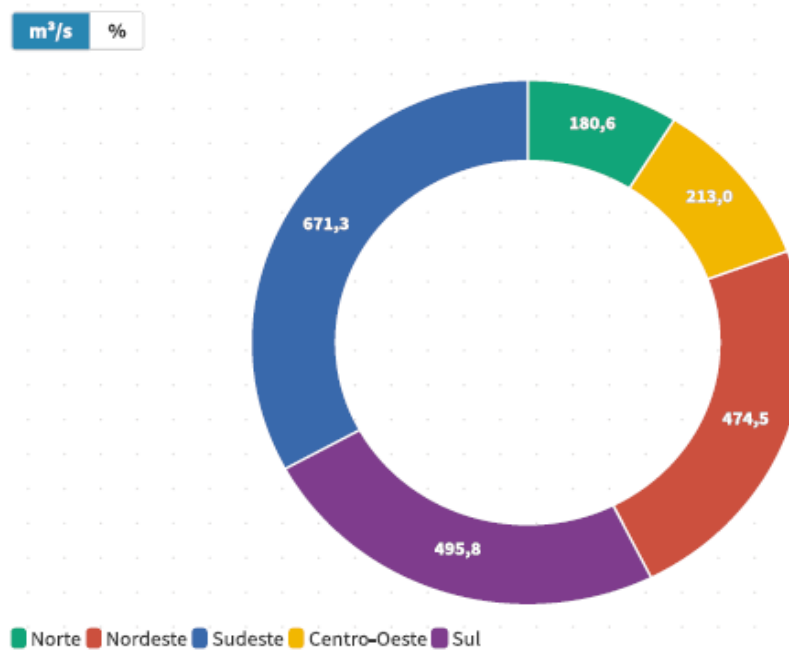
A demanda de água no Brasil, vem crescendo continuamente ao longo dos anos. Segundo relatório da ANA (2022), cerca de 92,9 trilhões de litros de água são retirados anualmente de fontes superficiais e subterrâneas para atender aos diversos usos em setores como irrigação, abastecimento urbano, indústria, uso animal, termelétricas, mineração (usos consuntivos), conforme mostra a Figura 13, com valores atualizados para o ano 2024 e uma projeção da evolução dos usos até 2040 e a Figura 14, retirada de água por região em 2022.

Figura 3 - Usos consuntivos setoriais



Fonte: SNIRH (2023).

Figura 4 - Retirada de água por região



Fonte: ANA (2024).

Segundo Talamone e Junior (2024), a agricultura é o setor que maior demanda consumo de água e que esse consumo vem da irrigação, importante para garantir a produtividade principalmente em períodos de estiagem, bem como o abastecimento urbano. Referindo-se a mananciais, grande parte da água existente não é visível na superfície, como as águas subterrâneas, que cumprem papel importante para alimentar rios, lagos, nascentes, possuindo conexão direta com as águas superficiais. Magalhães e Lopes (2022) citam que devido à elevada qualidade natural da água subterrânea em relação a superficial e seu baixo custo de obtenção, opta-se preferencialmente pelo uso de águas subterrâneas. Ainda comentam que no Brasil, a água subterrânea vem sendo utilizada desde o início da colonização, onde eram captadas por meio de cacimbas e poços rasos.

A resolução do Conama nº 396 (2008) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais e gerais para enquadramento das águas subterrâneas e reforça as exigências de programas de prevenção e controle de contaminação. As águas subterrâneas são classificadas em função de padrões de qualidade, conforme cita a Resolução do Conama nº 36 (2008):

- Classe I: sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às características hidrogeoquímicas naturais.
- Classe II: sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
- Classe III: com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
- Classe IV: com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.
- Classe V: que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.
- Classe Especial: destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos d'água superficiais.

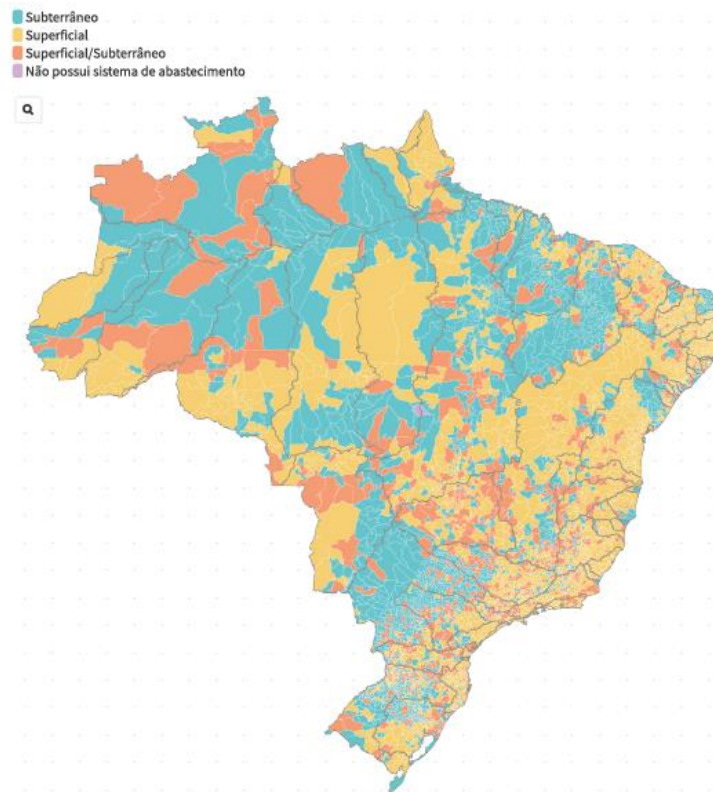
A disponibilidade de água superficial é garantida pela contribuição das águas dos aquíferos, que mantêm o fluxo de base da maior parte dos rios em território nacional e normalmente provém da chuva, são chamadas de áreas de recarga. Por isso, a disponibilidade hídrica subterrânea considera apenas uma parcela das reservas renováveis dos aquíferos (parcela da recarga), sendo o restante destinado à manutenção das vazões dos rios (Iritani e Ezaki, 2012).

No Brasil a disponibilidade de água subterrânea é estimada em 13.205 m<sup>3</sup>/s e semelhante às águas superficiais, sua distribuição não é uniforme, pois a produtividade dos aquíferos são variáveis, ocorrendo escassez numa região e outra com abundância (ANA, 2024). Já as águas superficiais, segundo ANA (2024), dos 255 mil m<sup>3</sup>/s de água que escoam pelo país, 80% encontram-se na bacia Amazônica.

Em 2021, o abastecimento de cerca de 156 milhões de habitantes, 85% da população urbana, dependia de mananciais superficiais (sendo o Rio São Francisco o de maior amplitude) os 15% restante são abastecidos por águas subterrâneas, sendo o Sistema Aquífero Grande

Amazônia, 162 mil km<sup>3</sup>, o maior que se tem conhecimento no planeta, em segundo lugar o Aquífero Guarani, 39 mil km<sup>3</sup> (ANA, 2024). A Figura 15 apresenta o abastecimento urbano de água conforme o tipo de manancial.

Figura 5 - Abastecimento urbano de água



Fonte: ANA (2024).

O Anexo 20 da Portaria da Consolidação nº5 (2017), trata de parâmetros de qualidade da água para consumo humano. Estabelece limites de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e organolépticos para que a água seja considerada dentro do padrão de potabilidade, bem como metodologias para análise.

O monitoramento da qualidade das águas superficiais é feito pela Agência Nacional de Águas, onde monitora a qualidade das águas superficiais e subterrâneas no país. Em 2013, a ANA lançou a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade de Água (RNQA), que com apoio dos estados vem ampliando e padronizando o monitoramento a nível Nacional, assim cada estado é responsável pelo gerenciamento das redes de qualidade da água (ANA, s.d.).

De acordo com ANA (Qualidade da Água, 2024) foi desenvolvido um indicador de qualidade da água (IQA) que avalia se a mesma está apta para consumo humano, após

tratamento convencional, e é baseado nos parâmetros de temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, resíduo total, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez. Um valor baixo de IQA indica má qualidade para abastecimento, mas poderá ser usada para outros fins.

## **2.5 Eventos extremos hidrológicos**

Chuvas intensas podem provocar eventos hidrológicos com consequências negativas, como inundações, alagamentos e enxurradas. Embora esses fenômenos ocorram naturalmente, sua gravidade é amplificada pela urbanização, tornando-se prejudiciais para a população urbana (Kehl, 2016).

Castro (2003) cita que nos alagamentos, a água depende mais de uma drenagem deficiente que dificulta a vazão do que das precipitações locais, ocorrendo frequentemente em cidades mal planejadas, assim como as enxurradas que acometem regiões acidentadas onde a inclinação do terreno favorece o escoamento, intensificando e causando danos.

As enxurradas e alagamentos que atingiram o Vale do Taquari em maio de 2024, provocados pelas chuvas extremas, provocaram também, inúmeras ocorrências de escorregamento, deslizamentos associados aos movimentos de massa. Cabe destacar, que embora a região tenha se consolidado às proximidades do Rio Taquari, as inundações na região são parte da dinâmica natural do Rio Taquari (Moraes, 2015).

Conforme levantamento da UFRGS (2024), quando se trata de movimento de massas, diferentes de enxurradas e inundações, esses fenômenos são extremamente rápidos o que dificulta medidas preventivas. Para identificar se concentram-se em cinco características importantes como, velocidade do movimento, tipo de material, mecanismo e modo de movimentação, forma da massa em movimento e proporção do conteúdo de água e material.

Ainda citam que no Vale do Taquari três tipos de movimento causaram maiores prejuízos para as comunidades: escorregamento translacional, escorregamento rotacional e fluxo de detritos. O escorregamento translacional é caracterizado por apresentar um plano de ruptura abrupto, de curta duração, ocorre em superfície íngreme, ocorrem durante eventos pluviométricos de alta intensidade e duração, já o escorregamento rotacional possui um superfície de ruptura curva em áreas pouco fraturadas e com formação superficial uniforme e

camada de solo mais espessa e concentração de argila e o fluxo de detritos é uma massa composta por uma mistura de sedimentos e água, são caracterizado por movimentos rápidos com alto poder de destruição (Silva, 2011).

As Figuras 16, 17 e 18 a seguir, foram tiradas no Vale do Taquari e exemplifica respectivamente os movimentos de massas ocorridos.

Figura 6 - Escorregamento translacional em Santa Clara do Sul/RS



Fonte: UFRGS (2024).

Figura 7 - Escorregamento Rotacional em Colinas/RS



Fonte: UFRGS (2024).

Figura 8 - Fluxo de detritos em Colinas/RS



Fonte: UFRGS (2024).

Segundo o *Jornal Semanário 2024*, em reportagem com o professor Masato Kobiyama, renomado especialista em desastres naturais, aponta que os recentes desastres ambientais têm sido desencadeados principalmente pela intensidade e quantidade total de precipitação, e podem ser gerados pela frequente mudança climática que afeta particulares áreas montanhosas por sua característica geográfica e que esses fenômenos devem continuar. Por consequência é importante refletir sobre os possíveis erros e quais medidas são essenciais para prevenir futuros desastres (Moriggi, 2024). A reportagem cita ainda, a falta de políticas públicas e criação de núcleos para monitorar problemas estruturais, quando se fala de desastres naturais.

O *Jornal Correio do Povo* com reportagem de Maia (2024), destaca que a Frente Parlamentar de Proteção e Defesa Civil trataram de planos de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação diante dos desastres naturais, onde foram propostas soluções imediatas, de médio e longo prazo. A curto prazo foi sugerido a dragagem de canais, a médio e longo prazo, foi mencionado o conceito de “cidades esponja”, preparando a infraestrutura das cidades contra áreas de inundações e outros desafios climáticos. Ainda foi enfatizado a importância da educação na preparação de desastres naturais e que a quantidade de chuva que atingiu o Estado poderia ter sido mitigada, pois sempre existiram os fenômenos naturais, mas com aumento da população, expansão urbana desordenada, diminuindo as áreas de drenagem natural e vegetação os riscos serão maiores.

Na cidade de Lajeado, a matéria do *Jornal A Hora*, trouxe informações ocorridas durante a última enchente de maio de 2024. Mais de 60 mil pessoas foram atingidas, as principais

rodovias danificadas e fechadas, além de deslizamentos. As pontes de Arroio do Meio ruíram com a força da água. Mais de 90 mil pontos da região ficaram sem água, luz e sem comunicação. Segundo reportagem, no dia 25 de abril a MetSul Meteorologia emitiu um alerta para risco de chuva extrema, no dia 30 de abril as inundações começaram na parte baixa do Vale do Taquari. Dia 1 de maio, 31 cidades do Vale do Taquari decretam calamidade pública, dia 2 de maio o número de mortes aumenta para 19 e a água chegou na ponta da BR 386 (Figura 19), atingindo nível histórico de 33,67 m em Lajeado.

Figura 9 - Ponte na BR 386



Fonte: Jornal A Hora (2024).

Segundo Trezzi e Tâmbara (2024) do Jornal Zero Hora, a cidade de Cruzeiro do Sul, nenhuma casa situada na orla do Rio Taquari sobrou intacta, as residências viraram escombros, o rio consumiu o bairro inteiro, das três enchentes essa foi a mais violenta, conforme Figura 20.

Figura 10 - Cruzeiro do Sul



Fonte: Zero Hora (2024).

Cruzeiro do Sul, como cita o *Jornal do Comércio*, é a localidade com mais mortes registradas. Algumas residências sobraram apenas as fundações e paredes, preocupado com possíveis deslizamentos a prefeitura contratou uma empresa especializada para realizar um laudo técnico. Segundo o geólogo Cristiano Danieli, a área sofreu o fenômeno de rastejo, que são camadas de solo que deslizam sobre a rocha gerando rejeito, que fica evidenciado pelas rachaduras nas paredes de algumas casas, muros e calçadas. Esse fenômeno vem ocorrendo há mais de 40 anos segundo moradores (Isaías, 2024).

Assim, para evitar maiores impactos decorrentes de alagamentos urbanos, inundações, enxurradas e movimentos de massa, há de se esperar que cada cidade tenha leis e parâmetros que garantam, por meio de regulamentações próprias, critérios que variam desde a permeabilidade do solo, usos, planos diretores, planos de contingência e planos de riscos, estratégias de subsistência em cenários de eventos extremos.

## **2.6 Sistemas de Abastecimento de Água**

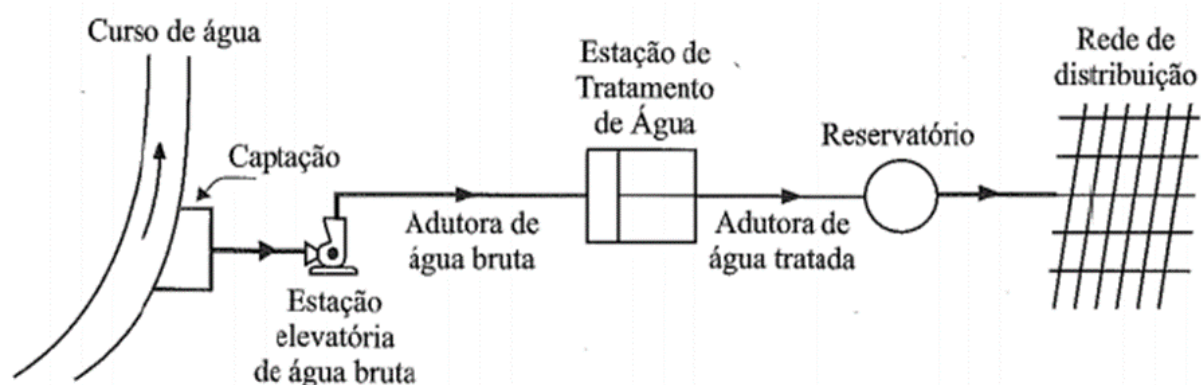
De acordo com Heller e Pádua (2010), a escolha da solução mais adequada para um problema de abastecimento de água não deve se basear exclusivamente em critérios como custo,

segurança ou inovação tecnológica, mas sim na sua compatibilidade com a realidade social onde será implementada. Assim, o desenvolvimento de uma proposta para atender a uma necessidade específica de abastecimento deve levar em conta diversas variáveis que influenciam o contexto, buscando alcançar a maior adequação possível.

De acordo com Azevedo Netto et al. (1998), um sistema de abastecimento de água é constituído por um conjunto de obras e serviços cuja finalidade é fornecer água potável à população, atendendo suas diversas necessidades de consumo. Conforme Tsutiya (2006), o desenvolvimento de um projeto de abastecimento de água envolve a definição de um conjunto de estruturas que devem considerar fatores condicionantes para sua viabilidade, tais como a existência de infraestruturas já implantadas, o dimensionamento preliminar das soluções mais adequadas às características locais, além da determinação dos parâmetros técnicos que orientarão a execução do projeto.

Ainda segundo Azevedo Netto et al. (1998), é fundamental, durante a elaboração do projeto, levar em conta as variáveis presentes e aquelas que podem surgir ao longo do tempo, uma vez que essas obras são planejadas para ter uma vida útil entre 10 e 30 anos. As principais unidades que compõem um sistema de abastecimento de água incluem: o manancial, a captação, a adução, as estações elevatórias, a estação de tratamento de água, os reservatórios e a rede de distribuição, conforme ilustrado na Figura 21 (Tsutiya, 2006).

Figura 11 - Exemplo de Sistema de Abastecimento de Água



Fonte: Tsutiya (2006).

De um modo geral, as concepções de sistemas de abastecimento dependem principalmente do tipo de manancial, da topografia da área e da população a ser atendida (Tsutiya, 2006).

### **2.6.1 Manancial**

Conforme Tsutiya (2006), o manancial corresponde ao corpo de água, seja superficial ou subterrâneo, de onde se realiza a retirada de água destinada ao abastecimento. Esse recurso hídrico deve ser capaz de fornecer uma vazão suficiente para suprir a demanda prevista durante o período de projeto, além de apresentar qualidade compatível com os padrões sanitários exigidos.

### **2.6.2 Captação**

As obras de captação correspondem a estruturas e dispositivos instalados junto ao manancial, com o objetivo de retirar água para suprir o sistema de abastecimento (Azevedo Netto et al, 1998).

A NBR 12213 (1992) cita que essas estruturas devem ser projetadas para operar de forma contínua durante todo o ano, assegurando a retirada de água em quantidade suficiente e com a melhor qualidade possível, além de permitir fácil acesso para atividades de operação e manutenção. Ainda enfatiza que é necessário um levantamento minucioso sobre a área abrangida, como inspeções em campo para averiguar as condições hidráulicas e geológicas, bem como área de inundação e focos poluidores.

Quando o manancial está situado em uma cota inferior à da área abastecida, torna-se necessária a implantação de uma estação elevatória, que passa a ser integrada às obras de captação. De modo geral, as captações de água para abastecimento público são realizadas em cursos d'água, lagos ou represas (Tsutiya, 2006).

### **2.6.3 Adução**

De acordo com Azevedo Netto et al. (1998), correspondem às tubulações responsáveis pelo transporte da água entre diferentes componentes do sistema de abastecimento, situados antes da rede de distribuição. Essas conduções geralmente realizam a ligação entre a captação de água e a Estação de Tratamento de Água (ETA), bem como entre a ETA e os reservatórios, assegurando o fluxo necessário para o atendimento da demanda.

Conforme Tsutiya (2006), as adutoras podem ser categorizadas da seguinte forma:

*Pela natureza da água transportada:*

- Adutoras de águas brutas: conduzem águas provindas do corpo hídrico até a ETA;
- Adutoras de águas tratadas: conduzem águas da ETA até os reservatórios.

*Quanto a energia de movimentação da água:*

- Adutora por gravidade: o transporte da água ocorre apenas pela ação da força gravitacional, ou seja, sem o uso de equipamentos mecânicos para impulsionamento. Para isso, a captação ou reservatório de origem deve estar em uma cota mais elevada que o ponto de destino, permitindo o escoamento natural da água.
- Adutora por recalque: é necessária quando a captação ou reservatório de origem está em cota inferior ao ponto de destino ou quando não há diferença de nível suficiente para o escoamento por gravidade, necessitando de uma estação elevatória.
- Adutora mista: combina trechos operando por gravidade com trechos sob recalque. Esse tipo de sistema é adotado quando as características topográficas do terreno variam, não sendo possível realizar toda a adução apenas por gravidade ou apenas por recalque.

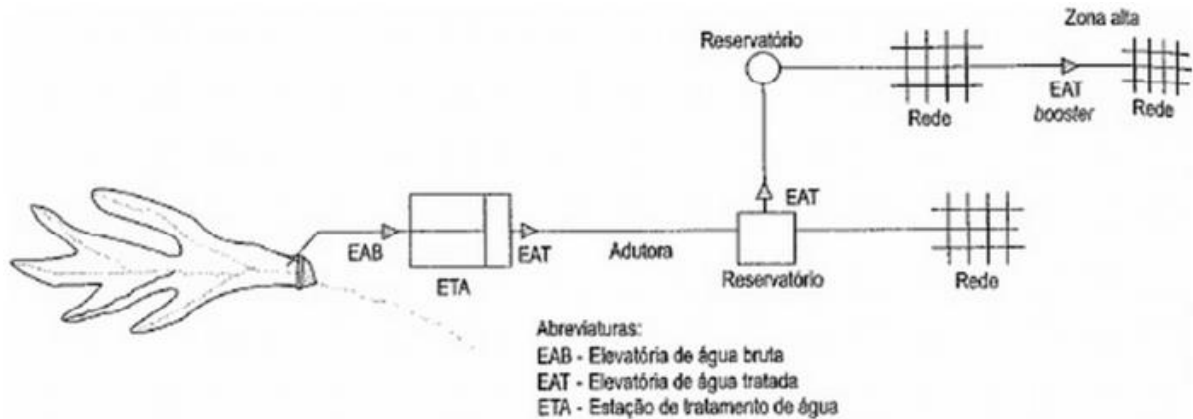
De acordo com a NBR 12215 (1991), o projeto de uma adutora deve considerar diversos parâmetros fundamentais, entre eles: a definição do percurso, levando em conta as características topográficas; a estimativa da vazão necessária; o dimensionamento adequado tanto do ponto de vista hidráulico quanto estrutural; além da realização de estudos de viabilidade econômica. Também é indispensável analisar os efeitos do golpe de aríete e avaliar o desempenho dos dispositivos relacionados à segurança, operação e manutenção do sistema.

#### **2.6.4 Estações Elevatórias**

Conforme Heller e Pádua (2010), essas estruturas tornam-se indispensáveis quando é preciso elevar a água a cotas superiores, superando desníveis presentes no terreno. Sua utilização está diretamente relacionada às características do relevo da região. As estações

elevatórias podem ser classificadas conforme o tipo de água que impulsionam, seja bruta ou tratada, e também de acordo com a categoria de bomba utilizada no sistema exemplificado na Figura 22.

Figura 12 - Localização de estação elevatória no sistema de abastecimento



Fonte: Heller e Pádua (2010).

### 2.6.5 Estações de Tratamento de Água

Segundo a NBR 12216 (1992, p.01) uma estação de tratamento de água é definida como “Conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade.” Condizente com a NBR 12216 (1992), as águas podem apresentar diferentes qualidades dependendo da sua origem e devido a isso exigem tratamento diferenciado conforme a classe em que se enquadram como A, B, C ou D, sendo que:

- Tipo A, águas subterrâneas ou superficiais protegidas;
- Tipo B, águas subterrâneas ou superficiais não protegidas, mas que possam tornar-se potável através de processo que não requerer coagulação;
- Tipo C, águas superficiais não protegidas, mas que possam torna-se potáveis através dos processos que requererem coagulação;
- Tipo D, águas superficiais não protegidas, sujeitas a fontes poluidoras, mas que possam tornar-se potáveis através dos processos especiais de tratamento.

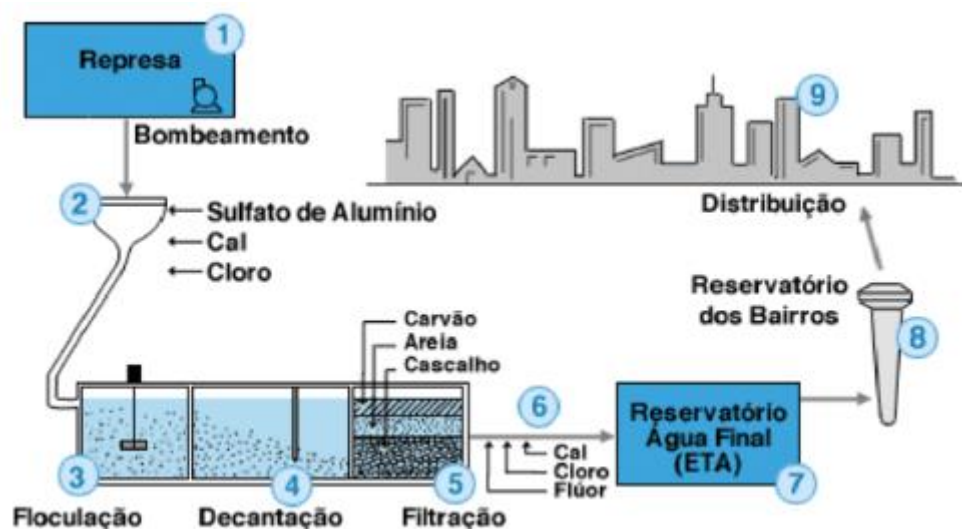
Como destaca Richter (2009), a definição de água potável está relacionada à seleção adequada dos processos de tratamento, os quais devem ser aplicados com o objetivo de remover ou reduzir certos componentes presentes na água bruta. Para isso, é fundamental considerar tanto a origem da água captada quanto os parâmetros de qualidade exigidos para a água tratada.

No Brasil, predominam três principais modelos de estações de tratamento de água: o sistema convencional, a filtração direta e a flotação por ar dissolvido, sendo estas as configurações mais frequentemente utilizadas (Richter, 2009). De acordo com Heller e Pádua (2010), no Brasil, a maioria dos tratamentos de água incluem as seguintes etapas:

- Clarificação: ocorre em decantadores, flotores e filtros, a fim de remover sólidos presentes na água;
- Desinfecção: destinada a inativar microrganismos patogênicos;
- Fluoretação: para prevenção de cárie dentária;
- Estabilização química: objetiva evitar corrosão e incrustações da água nas tubulações.

O tratamento convencional de água (Figura 23) é composto por diversas etapas que visam remover partículas e microrganismos, garantindo a potabilidade da água condizente com os padrões legais.

Figura 13 - Esquema de uma ETA convencional



Fonte: Sabesp (2010).

A coagulação (2) é a etapa inicial, na qual são adicionados coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio, que neutralizam as cargas elétricas das partículas coloidais presentes na água, facilitando sua agregação (FUNASA, 2019). Esse processo ocorre rapidamente, com elevada turbulência, promovendo a dispersão eficiente do coagulante.

Em seguida, ocorre a floculação (3), etapa caracterizada pela aglomeração das partículas coaguladas, formando flocos maiores e mais densos que podem ser facilmente removidos nas etapas posteriores. A floculação é realizada por meio de agitação lenta e controlada, com tempos de detenção variando entre 15 a 30 minutos, conforme a qualidade da água bruta e o tipo de floco desejado (Heller e Pádua, 2010).

Após a formação dos flocos, a água segue para a decantação (4), onde ocorre a separação gravitacional dos sólidos sedimentáveis. O dimensionamento dos decantadores é baseado na velocidade de sedimentação dos flocos, sendo essa etapa essencial para reduzir a carga de partículas antes da filtração (Richter, 2009).

O dimensionamento das unidades de decantação é baseado na Taxa de Aplicação Superficial (TAS) que como define a NBR 12216 (1992), é taxa obtida pela divisão da vazão passante pela área de decantação e também é relativo à velocidade de sedimentação, eles compreendem de 50 a 70% da área total da ETA e ainda cita que quando não é possível realizar ensaios para determinar a velocidade de sedimentação utiliza-se para estações até 1.000 m<sup>3</sup>/dia adota-se uma TAS de 25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia, para estações entre 1.000 a 10.000 m<sup>3</sup>/dia com bom controle usa-se uma TAS de 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia; caso contrário uma TAS de 25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia e para estações acima de 10.000 m<sup>3</sup>/dia adota-se 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia. A norma admite uma unidade de decantação para estações com capacidade inferior a 1.000 m<sup>3</sup>/dia ou com capacidade de até 10.000 m<sup>3</sup>/dia, porém com período de funcionamento inferior a 18h/dia e não mecanizadas. Utiliza-se pelo menos duas unidades iguais quando a capacidade da estação for superior a 10.000 m<sup>3</sup>/dia ou com período de funcionamento maior que 18h/dia e mecanizadas.

Após, a água passa pela filtração (5), que consiste na remoção de partículas remanescentes através de meios filtrantes, geralmente compostos por camadas de areia e cascalho. Esta etapa proporciona uma barreira adicional contra impurezas físicas e biológicas, sendo considerada um dos processos mais importantes para garantir a qualidade microbiológica da água (FUNASA, 2019).

Por fim, chega ao processo de desinfecção (6) que serve para destruir microrganismos presentes na água e como prevenção caso ocorra contaminação nas redes de distribuição (Heller e Pádua, 2010).

Para Azevedo e Netto *et al* (1998) os produtos mais utilizados para desinfecção nas redes de distribuição são o cloro, hipoclorito de sódio e cal clorada, sendo indispensável o uso de dosadores condizentes com o produto escolhido.

Ainda citam que a adição de flúor na água tem como objetivo prevenir a destruição do esmalte nos dentes, sendo usado de forma concentrada ou diluída e a dosagem é feita através de dispositivo de nível, bombas dosadoras, entre outros.

Estas etapas são fundamentais para o funcionamento eficiente de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional, assegurando o atendimento aos padrões de potabilidade exigidos pela legislação brasileira, como a Portaria GM/MS nº 888/2021.

### **2.6.6 Reservatórios**

Os reservatórios desempenham papel essencial no sistema de abastecimento de água, tendo como principais funções a regulação das vazões, armazenando água nos períodos de menor demanda e disponibilizando-a quando o consumo ultrapassa a média; a garantia de segurança operacional, ao manter reservas para situações emergenciais como falhas na adução, captação ou na estação de tratamento; a reserva para combate a incêndios; e a estabilização das pressões na rede de distribuição (Tsutiya, 2006).

De acordo com a NBR 12.217 (1994), o reservatório de distribuição é o componente responsável por ajustar as variações de vazão e controlar as pressões no sistema. A regulação da vazão ocorre por meio do acúmulo de água quando a demanda é inferior à média, suprindo o excedente quando a procura aumenta. Além disso, assegura a continuidade do abastecimento e colabora na regularização das pressões.

Quanto à classificação, Tsutiya (2006) cita que podem ser diferenciados conforme a localização no sistema:

- Reservatórios de montante: situados antes da rede, são responsáveis pelo fornecimento direto à distribuição;
- Reservatórios de jusante ou de sobras: localizados após a rede, armazenam água nos períodos de menor consumo e auxiliam o abastecimento nas horas de pico;
- Reservatórios intermediários: regulam as transições entre o bombeamento e a adução por gravidade.

Além disso, segundo Tsutiya (2006), podem ser classificados conforme a localização no terreno, sendo enterrados, semienterrados, apoiados ou elevados, e conforme a forma, que pode ser circular ou retangular, priorizando a economia na construção e na integração ao sistema. Quanto aos materiais, destacam-se o concreto armado, aço, poliéster reforçado com fibra de vidro, entre outros.

Por fim, o volume de reservação corresponde à soma dos volumes úteis das unidades que compõem uma zona de pressão, sendo delimitado entre o nível máximo, que indica a capacidade em condições normais, e o mínimo, que evita problemas hidráulicos como vórtices, cavitação e arraste de sedimentos (Heller e Pádua, 2010).

### **2.6.7 Rede de Distribuição**

A rede de distribuição constitui-se por um conjunto de tubulações e dispositivos complementares instalados nos logradouros públicos, cuja função é fornecer água potável de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão adequadas para o consumo residencial, comercial, industrial e outros serviços. Este componente é essencial dentro do Sistema de Abastecimento de Água (SAA), pois garante que a água tratada nas unidades anteriores chegue até os consumidores finais sem perda de qualidade. Além disso, destaca-se como a unidade mais extensa e onerosa do sistema, podendo representar mais da metade do custo total de implantação (Heller e Pádua, 2010).

Segundo a NBR 12218 (1994), a rede deve obedecer a parâmetros técnicos importantes, como a pressão estática máxima de 500 kPa e a pressão dinâmica mínima de 100 kPa. A pressão estática refere-se à medida registrada em um ponto da rede em nível da via pública sem consumo, enquanto a pressão dinâmica corresponde ao ponto onde há consumo efetivo.

As tubulações da rede de distribuição podem ser classificadas em primárias e secundárias. Os condutos primários, também chamados de canalizações mestras ou troncais, possuem maior diâmetro e são responsáveis por transportar água para os condutos secundários. Estes últimos, com diâmetros menores, realizam a condução direta da água até os pontos de consumo (Azevedo Netto *et al.*, 1998).

Ainda conforme a NBR 12218 (1994), o diâmetro mínimo para os condutos secundários deve ser de 50 mm, enquanto as velocidades de escoamento devem permanecer entre 0,6 m/s e 3,5 m/s, de modo a garantir a eficiência e a segurança do sistema.

De acordo com a disposição das canalizações, Tsutiya (2006) explica que as principais e o fluxo nas tubulações secundárias, as redes de distribuição podem apresentar diferentes configurações:

- Ramificada: onde o abastecimento parte de uma tubulação principal e a distribuição ocorre diretamente pelos condutos secundários, com o sentido da vazão claramente definido em cada trecho;
- Malhada: formada por tubulações que criam anéis ou blocos interligados, permitindo o abastecimento de qualquer ponto da rede por múltiplos caminhos, conferindo maior segurança operacional;
- Mista: uma combinação das características das redes ramificada e malhada, adaptando-se às necessidades e à topografia locais.

### **2.6.8 Perdas em sistemas de abastecimento de água**

No Brasil, conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o índice médio de perdas de água foi de 37,8% em 2022, com destaque para a CORSAN, que apresentou 44,5% de perdas.

As perdas em sistemas de abastecimento de água podem ser classificadas como reais, decorrentes de vazamentos e extravasamentos nas adutoras, redes e reservatórios, e como aparentes, relacionadas a consumos não contabilizados por fraudes, erros de medição ou ligações clandestinas. A correta identificação desses tipos é essencial para estabelecer estratégias de controle e melhorar os indicadores do sistema (Heller e Pádua, 2010).

Além dos prejuízos financeiros, as perdas reais geram impactos ambientais ao demandar maior captação de recursos hídricos, e podem comprometer a saúde pública devido ao risco de contaminação através de vazamentos (Tsutiya, 2006). Por outro lado, as perdas aparentes reduzem a receita das companhias, dificultando a sustentabilidade dos serviços de saneamento (Heller e Pádua, 2010).

## 2.7 Sistemas descentralizados de abastecimento de Água

Heller e Pádua (2010), citam que soluções alternativas de abastecimento de água para consumo humano, é toda modalidade de abastecimento coletivo distinta do abastecimento de água, como fontes, poços comunitários, instalações horizontais e verticais, distribuição por veículo de transporte, conforme Figura 14.

Figura 14 - Categorias de instalações para abastecimento de água

Segundo a modalidade do abastecimento	Segundo a abrangência	Distribuição por rede	Exemplo
1 Solução individual	Individual	Desprovida de rede	Poço raso individual
2 Solução alternativa	Coletiva	Desprovida de rede	Chafariz comunitário
3 Solução alternativa	Coletiva	Distribuição por rede	Condomínio horizontal
4 Sistema de abastecimento	Coletiva	Distribuição por rede	Sistema abastecedor de uma cidade

Fonte: Heller e Pádua (2024, p. 73).

### 2.7.1 Poços

Os sistemas descentralizados de abastecimento de água são soluções locais para captação, tratamento e distribuição que não dependem de grandes infraestruturas centralizadas, sendo essenciais em áreas rurais, pequenas comunidades ou regiões remotas (Brasil, 2017). Nesse contexto, os poços artesianos desempenham papel fundamental ao fornecer água subterrânea diretamente à comunidade ou propriedade, promovendo autonomia hídrica e resiliência frente a interrupções nos sistemas convencionais.

Poços artesianos são estruturas perfuradas para acessar aquíferos confinados, nos quais a pressão natural pode fazer a água emergir à superfície ou ser bombeada com menor esforço (ABAS, 2020). Por serem unidades locais, operam independentemente da rede pública, configurando um sistema descentralizado, capaz de garantir abastecimento contínuo em regiões

sem cobertura de saneamento básico adequado ou onde o abastecimento centralizado é precário (Barbosa *et al.*, 2022).

Entre as vantagens dos sistemas descentralizados com poços artesianos destacam-se a autonomia local, que possibilita que comunidades rurais ou assentamentos mantenham suprimento próprio, reduzindo dependência de sistemas vulneráveis. Além disso, reduzem perdas típicas de grandes redes e diminuem gastos com transporte e tratamento em larga escala. Tais sistemas são também mais resilientes a desastres, mantendo funcionalidade em situações de emergência como enchentes ou colapso de estações centrais. A flexibilidade na gestão, com ajustes locais na operação e manutenção, permite maior controle da qualidade e uso racional da água (Campos *et al.*, 2021).

Por outro lado, esses sistemas exigem planejamento hidrogeológico rigoroso para garantir a sustentabilidade dos aquíferos explorados e monitoramento constante da qualidade da água, para evitar contaminações por esgoto ou agrotóxicos (Barbosa *et al.*, 2022). A capacitação das comunidades para operação e manutenção adequadas também é fundamental para o sucesso dessas tecnologias descentralizadas (Brasil, 2017).

Estudos realizados em regiões semiáridas e rurais do Nordeste brasileiro apontam que o uso de poços artesianos em sistemas descentralizados tem ampliado o acesso à água potável, aumentando a segurança hídrica local. A legislação brasileira incentiva tais sistemas como parte da estratégia nacional para universalização do acesso à água (Barbosa *et al.*, 2022; Brasil, 2017).

### **2.7.2 Cisternas**

As cisternas são tecnologias sociais de captação e armazenamento de água da chuva, desenvolvidas como solução alternativa para enfrentar a escassez hídrica em regiões que não dispõem de abastecimento público eficiente. Essas estruturas são projetadas para captar a água da chuva coletada por telhados ou calçadões, encaminhá-la por meio de calhas para reservatórios fechados, e posteriormente utilizá-la para fins domésticos, produção de alimentos ou dessedentação animal, conforme a necessidade local (Silva *et al.*, 2019).

Dentre os tipos mais comuns, destacam-se: cisterna de placas para consumo humano (16 mil litros), cisterna calçadão (52 mil litros), cisterna de enxurrada e as voltadas à produção.

O uso de filtros rudimentares (areia, brita, carvão), separadores de primeira água e sistemas de cobertura são elementos fundamentais para garantir a potabilidade e reduzir a contaminação da água armazenada (Plansab, 2024).

O uso de cisternas proporciona diversos benefícios: aumenta a segurança hídrica das famílias, diminui a dependência do sistema público de abastecimento, melhora a qualidade de vida, contribui para a autonomia alimentar e fortalece a gestão comunitária da água. Segundo Heller e Pádua (2010), cisternas permitem maior autonomia em contextos de emergência hídrica, como secas ou enchentes que comprometam o abastecimento centralizado, possibilitando armazenamento prévio da água da chuva ou coleta emergencial.

Araújo e Almeida (2015) destacam que além do impacto técnico, as cisternas têm forte dimensão social, pois estimulam práticas sustentáveis e fortalecem a consciência coletiva sobre o uso racional da água. Esse tipo de tecnologia tem sido amplamente adotado no Brasil a partir de políticas públicas e parcerias com organizações da sociedade civil.

O maior exemplo institucional da aplicação dessa tecnologia no país é o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), criado em 2003 no âmbito do Programa Fome Zero, coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social (MDS) em parceria com a Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA). Seu objetivo principal é garantir o acesso à água para consumo humano e produção agrícola a famílias de baixa renda residentes em áreas rurais do Semiárido (ASA, 2020).

Até 2022, o Programa Cisternas já havia implantado mais de 1,3 milhão de tecnologias sociais de captação e armazenamento de água, beneficiando mais de 5 milhões de pessoas em mais de 1.200 municípios brasileiros. Em 2023, o programa ampliou sua abrangência para além do Semiárido, atingindo também comunidades da Amazônia, do Sul e do Centro-Oeste, com mais de 68 mil tecnologias entregues apenas nesse ano, e um investimento superior a R\$ 679 milhões (MDS, 2023).

De acordo com a norma ABNT NBR 15527:2007 – Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas, os sistemas de captação devem ser dimensionados com base nas demandas específicas do usuário, nas características da edificação e na pluviometria da região, sendo o tipo de reservatório um dos principais elementos do projeto.

Atualmente, o mercado oferece uma ampla variedade de modelos de cisternas e reservatórios destinados ao armazenamento de água pluvial, diferenciando-se quanto ao material construtivo, formato e aplicação (residencial, urbana ou industrial).

Quanto ao material, destacam-se os seguintes, conforme Tomaz (2010):

- Polietileno: É o tipo mais amplamente utilizado em aplicações residenciais. Trata-se de um material leve, resistente, de fácil instalação e manutenção reduzida. Está disponível em diversos volumes, sendo ideal para uso doméstico e urbano de pequeno a médio porte.
- Fibra de vidro: Apresenta boa resistência mecânica, leveza e durabilidade. Embora seja mais caro que o polietileno, é uma opção viável para aplicações que exigem leveza e resistência química.
- Concreto armado: Indicado para grandes volumes de armazenamento, é amplamente empregado em projetos de maior porte, como escolas, centros esportivos e empreendimento públicos. Pode ser moldado in loco ou adquirido em módulos pré-moldados. Sua principal vantagem está na elevada durabilidade e robustez estrutural.
- Metálicos (aço galvanizado ou inoxidável): Mais comuns em ambientes industriais, esses reservatórios apresentam alta resistência, porém exigem cuidados específicos contra corrosão, especialmente em regiões com elevada umidade ou salinidade.

Quanto ao formato, os modelos mais usuais incluem:

- Cilíndricos verticais: São os mais comuns, especialmente em polietileno, devido à sua eficiência no armazenamento e facilidade de instalação.
- Cilíndricos horizontais: Aplicados quando há restrição de altura ou necessidade de instalação subterrânea.
- Retangulares ou quadrados: Predominam em estruturas de concreto, permitindo melhor aproveitamento de espaço em projetos arquitetônicos específicos.

De acordo com a aplicação, os modelos se adaptam a três categorias principais:

- Residenciais: Com volumes reduzidos, voltados para reuso em sanitários, irrigação e lavagem de pisos.
- Urbanos: Integram sistemas públicos ou comunitários, geralmente associados a escolas, praças e ginásios.
- Industriais: Demandam maior capacidade e controle, podendo integrar sistemas de produção e combate a incêndios.

Segue alguns modelos mais utilizados em residências, sistema urbano, industrial.

Figura 15 - Modelo de cisterna modular



Fonte: Tecnotri.

Figura 16 - Modelo de cisterna subterrânea



Fonte: <https://www.casadacisterna.com.br/cisternas-e-tanques/cisternas-subterranea-s4>

Figura 17 - Modelo de cisterna inox



Fonte: Casa da cisterna.

Figura 18 - Modelo de cisterna calçada



Fonte: <https://plataformasabia.com/t/cisterna-calçada-para-potencialização-de-quintais-produtivos-1>.

Além dos reservatórios e cisternas existe um sistema de tratamento de água da chuva para uso doméstico e de grandes vazões (como galpões, escolas, postos de gasolina, igrejas, prédios, etc), o equipamento separa águas dos resíduos, folhas e materiais de maior proporção e passa pelo calcário para ajuste de PH, após a água entra em contato com pastilhas de cloro

para eliminar microrganismos prejudiciais e termina em um sistema de filtração mais fino para limpar impurezas que ainda existem na água, conforme Figura 19.

Figura 19 - Sistema de filtração para água potável



Fonte: <https://chovechuva.com.br/>

Posterior pode ser armazenada em cisternas subterrâneas ou de superfícies para ser usada em várias partes da casa ou empresa, conforme Figura 20. A água tratada pode ser usada para irrigar jardins, hortas, gramado, para lavar roupas, banho, lavar utensílios, limpeza.

Figura 20 - Aplicação do sistema de filtração



Fonte: <https://chovechuva.com.br/>

Este sistema também poderá ser de grande utilidade para a purificação das águas captadas das chuvas e armazenadas em cisternas em regiões semiáridas ou de precipitação pluviométrica irregular.

Conforme cita Rola *et al* (2015), um dos exemplos de sistemas de captação pluvial instalado é na cidade do Rio de Janeiro na cidade do Samba, onde capta e utiliza a água da chuva. O complexo conta com uma área de telhado de 37.800 m<sup>2</sup> sendo utilizado 21.000 m<sup>2</sup> para captação onde é drenado e armazenado em reservatórios subterrâneos com capacidade de 300 m<sup>3</sup> cada um. Além disso cada barracão possui dois reservatórios de 10 mil litros cada, sendo um com água da chuva e outro água tratada da concessionária, totalizando 740mil litros de capacidade. Os usos da água captada são para limpeza interna e externa e para sistemas de combate a incêndio com reserva de 125 m<sup>3</sup>.

Outro exemplo é o Instituto Max Planck de Estrutura e Dinâmica da Matéria, em Hamburgo na Alemanha, possui um sistema inovador de telhado verde com retenção de águas pluviais como parte de sua infraestrutura sustentável. O projeto faz parte de um conjunto de intervenções no campus que valorizam soluções ecológicas e funcionais (Rola *et al*, 2015).

Principais características do sistema:

- Telhado paisagístico com diferentes camadas de cobertura vegetal — incluindo sedum, ervas, gramíneas e pequenas árvores — responsável por reter chuva intensa, reduzir o escoamento superficial e promover infiltração gradual;
- A chuva retida é armazenada em cisternas, de onde é reutilizada internamente para água cinza, como em descargas sanitárias, além de irrigar o próprio telhado verde
- Essa abordagem sustentável traz benefícios ambientais (controle de enchentes urbanas, melhoria microclimática, aumento da biodiversidade) e econômicos (redução de custos com sistemas de drenagem, tratamento de esgoto e climatização).

### **2.7.3 Água de reuso de efluentes**

Em contextos de emergência hídrica causados por eventos extremos, como estiagens prolongadas ou enchentes que comprometem os sistemas de captação e tratamento convencionais, o reuso de efluentes tratados representa uma alternativa estratégica para assegurar o abastecimento de demandas não potáveis. A utilização de águas cinzas, oriundas de lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar roupas, apresenta elevado potencial de reaproveitamento em usos secundários em residências e edifícios públicos, podendo ser aplicada em descargas sanitárias, irrigação paisagística e lavagem de áreas externas. Já o reuso de águas negras ou efluentes sanitários exige tratamento mais avançado com tecnologias como filtros biológicos, sistemas de lodo ativado, reatores anaeróbios (UASB) ou wetlands construídos permitindo sua aplicação segura na irrigação agrícola, em processos industriais e, com restrições, na recarga de aquíferos (Sezerino e Pelissari, 2021).

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI), por meio do estudo realizado em parceria com a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul (FIERGS), o reuso de efluentes tratados em sistemas industriais pode suprir até 30% da demanda hídrica de alguns polos produtivos do estado, especialmente em setores com elevada necessidade de água para resfriamento, lavagem de equipamentos ou geração de vapor. Esse estudo identificou, ainda, o potencial de utilização de efluentes tratados oriundos de estações de tratamento de esgoto municipais como fonte alternativa de abastecimento para o setor agroindustrial (CNI, 2022).

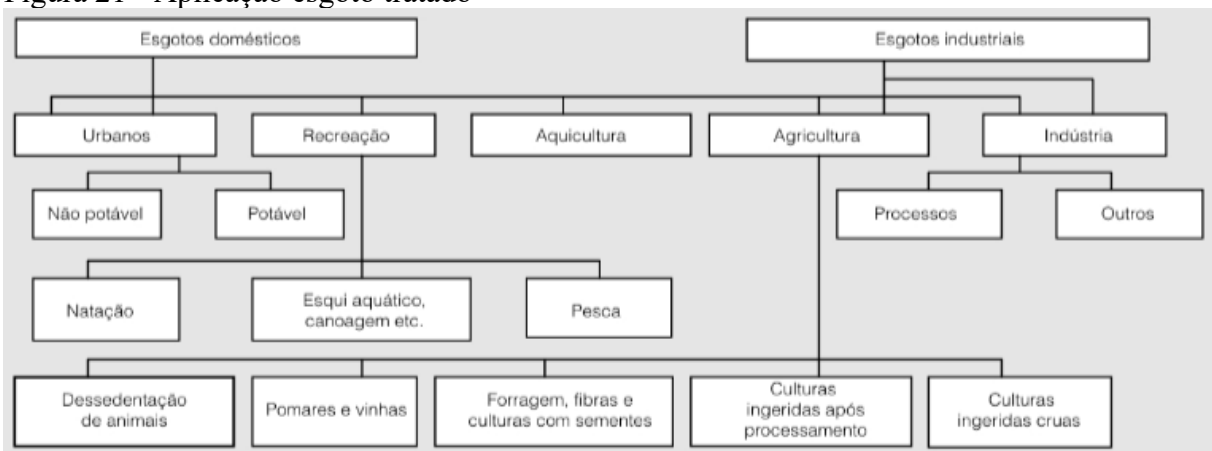
A incorporação dessas estratégias aumenta significativamente a resiliência hídrica de áreas urbanas e rurais frente a interrupções do fornecimento de água potável, promovendo o uso racional dos recursos hídricos e alinhando-se às diretrizes de sustentabilidade e segurança hídrica propostas pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Segundo o SNIS (2023) 80% da água captada, tratada, distribuída para consumo humano se transforma em esgoto após uso doméstico, esses efluentes domésticos são formados por 99,9% água e 0,1% de sólidos.

Conforme Tomaz (2010), estima-se que cada pessoa produza em média de 70 a 100 L/dia de águas cinzas, em uma residência com 4 pessoas considerando que cada pessoa gera 90L//dia, são produzidos 360 L/dia ou 10,8 m<sup>3</sup>/mês esse volume representa um significativo potencial para tratamento e reuso em fins não potáveis.

A Figura 21 apresenta um esquema dos tipos básicos de uso potencial do esgoto tratado que podem ser implementados tanto na área urbana como rural (Telles e Costa, 2010).

Figura 21 - Aplicação esgoto tratado



Fonte: Telles e Costa, 2010.

Nesse cenário o crescimento da coleta e tratamento de esgoto representa uma oportunidade. Hoje existem técnicas avançadas e simples que asseguram a utilização segura da água de efluentes tratados em usos urbanos não potáveis e industriais. No Brasil é pouco empregada, mas em diversos países com severas restrições hídricas, a água tratada é utilizada inclusive para abastecimento humano.

Os sistemas de tratamento por Wetlands construídos se destacam como uma alternativa eficaz e de baixo custo para o reuso de efluentes, especialmente águas cinzas.

Conforme Wetlands (2020), os Wetlands Construídos são basicamente a construção de canais ou lagoas artificiais que abrigam plantas aquáticas, onde são despejados esgotos e a partir da interação desse ecossistema e seus processos físicos, químicos e biológicos, ocorre a modificação da qualidade e a despoluição da água. Ou seja, reproduzem os processos de áreas naturalmente alagadas, mas de maneira controlada.

Apresentam muitas vantagens, e uma delas é que podem ser aplicadas de maneira descentralizada, ou seja, para o tratamento de águas residuais domésticas, industriais, de mineração ou urbanas. Soma-se também o fato de ser uma tecnologia de baixo custo de implantação e manutenção, comparando-se aos métodos tradicionais.

O tamanho da área necessária para o projeto pode ser o principal desafio para sua implantação em grandes centros urbanos. Por outro lado, o planejamento prévio de parques residenciais ou industriais pode viabilizar a implantação, pois além do tratamento de esgoto dessas áreas, podem servir como jardins filtrantes na drenagem das águas pluviais urbanas minimizando o perigo de enchentes e alagamentos, como exemplo na Figura 22.

Figura 22 - ETE Wetlands



Fonte: Wetlands, 2020.

A título de estimativa, são necessários de 1 a 2m<sup>2</sup> para cada 160L/dia de vazão o que corresponde a produção média de esgoto de 1 habitante, assim uma ETE Wetlands para uma comunidade de 1000 habitantes, com geração de 160L/hab.dia, seriam necessários 1400 a 2800m<sup>2</sup>, se não houver área compatível não há como viabilizar a implantação.

Há diversos estudos que comprovam a eficiência de Wetlands Construídos em áreas urbanas e rurais, demonstrando que esse sistema possui grande potencial estratégico para aplicação em comunidades locais, principalmente aquelas carentes de esgotamento sanitário.

Esse sistema é amplamente usado no mundo, e utilizados em diversas aplicações, destacando -se os seguintes maiores cases:

#### 1) OMAN: Baer Nimr Water Treatment Plant

- Vazão Equivalente = 1.093.750 hab.
- Localização: Muscat, Oman
- Aplicação: Tratamento de águas de exploração de petróleo
- Área: 2.300.000 m<sup>2</sup>
- Vazão: 115.000 m<sup>3</sup>/d – 175.000 m<sup>3</sup>/d

#### 2) EUA: Tar Creek Treatment System

- Vazão Equivalente = 9.000 hab.
- Localização: Oklahoma, Estados Unidos
- Aplicação: Tratamento de águas de drenagem ácida de mineração
- Área: 20.000 m<sup>2</sup>
- Vazão: 1.440 m<sup>3</sup>/d

#### 3) EUA: East Fork Wetland - North Texas Municipal Water District's East Fork Water Reuse Project

- Vazão Equivalente = 2.129.294 hab.
- Localização: Texas, Estados Unidos
- Aplicação: Tratamento de efluente sanitário municipal tratado para fins de potabilização da água para reuso
- Área: 7.446.216 m<sup>2</sup>

- Vazão: 340.687 m<sup>3</sup>/d

#### 4) China: Changshu Industrial Park Tertiary Treatment Wetland

- Vazão Equivalente = 25.000 hab.
- Localização: Jiangsu, China
- Aplicação: Tratamento terciário de efluentes industriais de indústrias químicas com qualidade para reuso
- Área: 60.000 m<sup>2</sup>
- Vazão: 4.000 m<sup>3</sup>/d

#### 5) Itália: Fusina Treatment Wetlands

- Vazão Equivalente = 600.000 hab.
- Localização: Veneza, Itália
- Aplicação: Polimento de efluentes domésticos e industriais tratados visando reuso em processos industriais
- Área: 1.000.000 m<sup>2</sup>
- Vazão: 96.000 m<sup>3</sup>/d

#### 6) Inglaterra: Henningfield Sludge Treatment Reed Bed System

- População atendida = 1,5 a 2,0 milhões de habitantes
- Localização: Hanningfield, Inglaterra
- Aplicação: Tratamento de lodo gerado em estação de tratamento de água
- Área: 45.000 m<sup>2</sup>
- Vazão: 3.000 m<sup>3</sup>/d ou 1.275 ton.ST/ano

### **2.7.4 Pagamento por serviços ambientais (PSA)**

Os pagamentos por serviços ambientais (PSA) são instrumentos econômicos que visam reconhecer, valorizar e incentivar práticas de conservação ambiental realizadas por proprietários rurais ou comunidades, por meio de compensações financeiras ou incentivos não monetários. Esses serviços podem incluir a proteção de mananciais, a recuperação de áreas degradadas, a manutenção da biodiversidade, o sequestro de carbono e o controle da erosão,

entre outros. O objetivo do PSA é criar uma lógica de mercado em que os benefícios ambientais gerados por ações de preservação sejam remunerados, promovendo o uso sustentável dos recursos naturais. No Brasil, a Lei nº 14.119/2021 instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, regulamentando sua aplicação em diferentes biomas e contextos socioambientais. (Brasil, 2021; Pereira; Fonseca, 2018).

A cidade de Nova York possui um dos maiores e mais eficientes sistemas de abastecimento de água potável do mundo, que se destaca pela sua abordagem descentralizada e baseada na preservação ambiental. Cerca de 90% da água que abastece a cidade provém das regiões de Catskill e Delaware, áreas de mananciais localizadas a mais de 150 km da metrópole (Globo Rural, 2008).

A reportagem do Globo Rural (2008), ainda cita que ao invés de construir grandes Estações de Tratamento de Água (ETA), Nova York optou por investir em proteção das bacias hidrográficas, adotando um modelo inovador de pagamento por serviços ambientais. Por meio do programa Watershed Agricultural Program, os proprietários rurais — especialmente os fazendeiros — recebem incentivos financeiros e apoio técnico para conservar matas ciliares, controlar o uso de fertilizantes e evitar práticas que poluam os corpos d'água. Essas ações ajudam a manter a qualidade da água bruta em níveis tão elevados que eliminam a necessidade de tratamento convencional, exigindo apenas processos de filtração mínima e desinfecção.

Essa estratégia, além de ambientalmente sustentável, mostrou-se economicamente vantajosa: os investimentos em preservação e manejo custam menos do que a construção e operação de grandes estações de tratamento. O modelo de Nova York é hoje referência internacional em gestão de recursos hídricos com base na conservação, provando que proteger a nascente pode ser mais eficiente e barato do que tratar a água após a contaminação.

Além do modelo internacional adotado em Nova York, o Brasil também possui iniciativas baseadas no mesmo princípio de valorização dos serviços ecossistêmicos para proteção dos recursos hídricos. Destaca-se, nesse sentido, o programa Produtor de Água, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). O programa promove o pagamento por serviços ambientais (PSA) a produtores rurais que adotam práticas de conservação do solo, reflorestamento de matas ciliares, terraceamento e outras medidas que

contribuem para a melhoria da qualidade e quantidade da água nas bacias hidrográficas (ANA, s.d.).

Em junho de 2024, a Corsan (2024), em parceria com o Ministério Público do Rio Grande do Sul (MPRS) e a Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc), lançou um projeto piloto em Venâncio Aires com foco na preservação e recuperação de nascentes na sub-bacia do Arroio Castelhana, principal manancial de abastecimento do município. A iniciativa integra a plataforma digital “Águas para o Futuro”, desenvolvida para mapear, monitorar e estimular a proteção de recursos hídricos por meio de pagamentos por serviços ambientais (MPRS, 2024).

O programa contempla:

- Cadastro e georreferenciamento de nascentes por meio de aplicativo digital;
- Avaliação da situação ambiental das nascentes cadastradas;
- Remuneração voluntária de produtores rurais que adotarem práticas conservacionistas (como plantio de mata ciliar e proteção contra o pisoteio de gado);
- Governança compartilhada, com atuação da Corsan, MPRS, Emater/RS-Ascar, Rotary Club, Unisc e a Secretaria de Meio Ambiente local.

Desde 2018, 34 nascentes já foram recuperadas na região. O projeto visa garantir a disponibilidade e qualidade da água mesmo em períodos de estiagem, reduzindo a dependência de infraestruturas centralizadas e aumentando a resiliência hídrica frente a eventos extremos, como enchentes e secas.

O caso de Venâncio Aires é um exemplo pioneiro no Estado do Rio Grande do Sul de gestão descentralizada dos recursos hídricos com foco na valorização dos serviços ecossistêmicos e no incentivo direto aos produtores como agentes de proteção das bacias hidrográficas.

Esses projetos brasileiros reforçam a viabilidade da gestão descentralizada e preventiva dos recursos hídricos, mostrando que a proteção das nascentes e do uso do solo na área rural pode ser uma alternativa eficaz e complementar ao investimento em infraestrutura pesada de tratamento e distribuição.

## **2.8 Vulnerabilidades da infraestrutura de abastecimento de água**

As vulnerabilidades da infraestrutura de abastecimento de água referem-se às fragilidades físicas, operacionais e locais que comprometem a capacidade dos sistemas hídricos de fornecer água de forma segura, contínua e de qualidade. Essas vulnerabilidades tornam os sistemas suscetíveis a falhas em situações adversas, como enchentes, secas, contaminações ou colapsos estruturais. Incluem desde problemas na concepção e envelhecimento dos componentes (vulnerabilidade estrutural), até deficiências na gestão e operação (vulnerabilidade operacional) e a localização geográfica em áreas de risco (vulnerabilidade locacional), impactando diretamente a resiliência e a segurança hídrica da população (Nunes, 2011).

A autora exemplifica cada tipo de vulnerabilidade como:

### **Vulnerabilidade Estrutural:**

Refere-se a fragilidades físicas da infraestrutura (como estações de tratamento, reservatórios, redes de distribuição e elevatória). São falhas relacionadas à engenharia, materiais e desgaste, que tornam os sistemas suscetíveis a danos durante eventos extremos, como rompimentos, colapsos ou erosão. Exemplos incluem tubulações antigas que se rompem sob pressão de enchentes ou reservatórios com risco de colapso.

### **Vulnerabilidade Operacional**

Está associada à incapacidade de operação ou manutenção adequada dos sistemas. Inclui falhas em válvulas, bombas, unidades de tratamento e capacidade de resposta operacional (erro humano, falta de pessoal, ausência de protocolos de contingência). Em situações de enchente, por exemplo, estação de bombeamento pode falhar por inundações, resultando em interrupção do abastecimento.

### **Vulnerabilidade Locacional**

Diz respeito à posição geográfica da infraestrutura em áreas de risco – como várzeas, margens de rio, encostas ou planícies de inundação. Essa localização expõe os ativos a perigos naturais (enchentes, deslizamentos), amplificando o risco de dano ou funcionamento ineficiente

durante eventos extremos. É frequentemente analisada em estudos de risco baseados em geotecnologias.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordados materiais e métodos que serão utilizados para atender os objetivos propostos neste trabalho, que tem por finalidade propor alternativas de reabastecimento de água em situações de emergência devido a desastres ambientais, de acordo com as necessidades do município escolhido, avaliando as condições existentes de distribuição de água e propondo alternativas para o abastecimento.

Cabe destacar que este trabalho faz uma avaliação geral de impactos em infraestrutura básica, ocasionada pelo desastre de maio de 2024 no Rio Grande do Sul e, seleciona na região do Vale do Taquari – Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas, um município como estudo de caso para aplicar os objetivos deste trabalho.

A Figura 23, sintetiza a metodologia para alternativas de (Re)abastecimento de água em situações de emergência, o que se torna cada vez mais necessário diante das catástrofes que atingiram o estado nesse último ano.

Figura 23 - Metodologia para alternativas de reabastecimento de água em situações de emergência



Fonte: Da autora, utilizando Napkin (2024).

### 3.1 Caracterização da área de estudo

As cheias de maio de 2024 no Rio Grande do Sul (RS) causaram grandes danos em várias cidades do estado, devido a intensas chuvas que afetaram a bacia hidrográfica dos principais rios do estado. As precipitações intensas, que chegaram a mais de 600 mm em algumas áreas em um curto período de tempo, provocaram alagamentos, deslizamentos de terra e evacuação de centenas de famílias. As fortes chuvas e as inundações também prejudicaram a infraestrutura local, com estradas interditadas e pontes danificadas. Várias cidades do estado decretaram situação de emergência, diversas casas foram evacuadas, milhares de pessoas ficaram desabrigadas (Governo do Estado, 2024).

A escolha do município mais atingido baseou-se no levantamento de dados, realizado através de pesquisa documental e por apresentar uma série de inundações com danos recorrentes. Sendo assim, com os dados obtidos, a cidade de Cruzeiro do Sul foi uma das mais atingidas entre os municípios de Lajeado e Estrela na inundação de maio de 2024.

De acordo com Fonseca; Weber et al (2024), em nota técnica sobre os impactos do evento climático de maio de 2024, constam a identificação e quantificação das 100 áreas de municípios

mais atingidas em proporção do território e de municípios com maior parcela da área urbanizada atingida conforme Tabela 1, como referência, foi citado somente três municípios do Vale do Taquari.

Tabela 1 - Dados das áreas atingidas

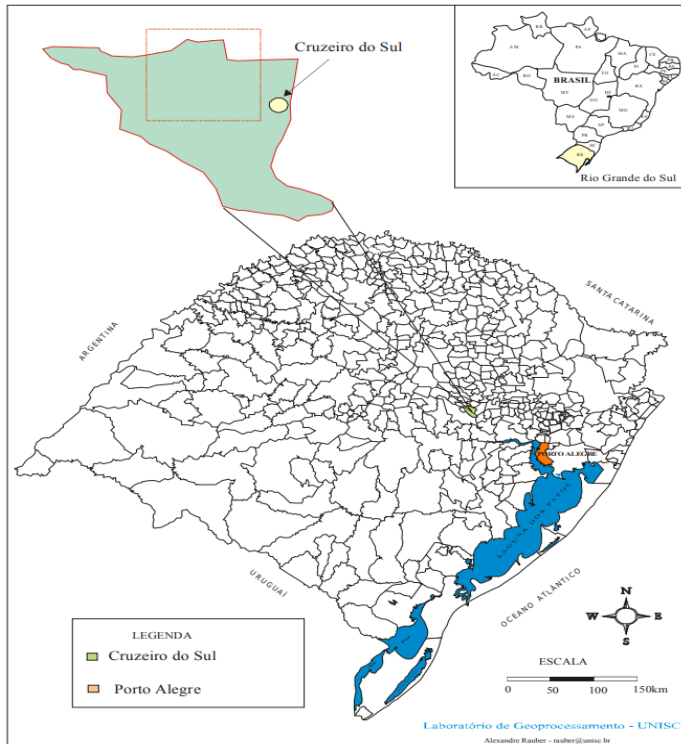
	<b>Município</b>	<b>Área atingida (ha)</b>	<b>Área do município (ha)</b>	<b>% atingido</b>
Municípios mais atingidos em proporção do território	Cruzeiro do Sul	4.163	15.496	26,9%
	Estrela	3.138	18.426	17%
	Lajeado	977	9.131	10,7%
Municípios com maior parcela da área urbanizada atingida	Cruzeiro do Sul	40	271	14,7%
	Estrela	85	909	9,3%
	Lajeado	91	2.856	3,2%

Fonte: Da autora, adaptado de Fonseca; Weber *et al* (2024).

Segundo os dados, o município teve uma área de 26,9% do seu território atingida e sendo que 14,7% foi na área urbanizada. Em proporções (%) do território atingido, Cruzeiro do Sul foi a 12° cidade mais afetada, Estrela a 43° e Lajeado 70°. Já em maior parcela da área urbanizada atingida Cruzeiro do Sul foi a 13°, Estrela 23° e Lajeado 73° dentre as cidades atingidas no estado (Weber *et al*, 2024).

A cidade de Cruzeiro do Sul está localizada no estado do Rio Grande do Sul (Figura 24), na região centro-leste, fazendo divisa com os municípios de Lajeado, Estrela, Bom Retiro do Sul, Mato Leitão, Venâncio Aires e Santa Clara do Sul.

Figura 24 - Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul e do município de Cruzeiro do Sul/RS



Fonte: Da autora, adaptado de Costa *et al* (2007, p. 20).

Os dados mais relevantes do município estão apresentados abaixo, conforme dados do IBGE (2022) e da Prefeitura Municipal de Cruzeiro do Sul:

- Área territorial: 155,058 km<sup>2</sup>
- Densidade demográfica: 74,81 hab//km<sup>2</sup>
- População no último censo: 11.600 pessoas \*
- População estimada (2024): 12.571 pessoas
- População Urbana (dados da Prefeitura): 60,68%
- População Rural (dados da Prefeitura): 39,32%
- Densidade demográfica: 74,81 hab//km<sup>2</sup>
- Área urbanizada: 8,42 km<sup>2</sup>
- Esgotamento sanitário adequado (2010): 41,7%
- Arborização das vias públicas (2010): 90,6%
- Urbanização das vias públicas (2010): 31,6%
- População exposta em área de risco de inundação (2019): 3.172 pessoas
- Bioma (2019): Mata Atlântica

Segundo a Prefeitura de Cruzeiro do Sul o censo divulgado pelo IBGE em 2022, apresentou um resultado diferente da realidade, de acordo com a administração municipal, a

cidade conta com uma população de aproximadamente 12,5 mil habitantes (Prefeitura Municipal de Cruzeiro do Sul, 2023).

### **3.2 Procedimentos Metodológicos**

A metodologia deste trabalho está estruturada em quatro etapas principais que são diagnosticar e quantificar os impactos do desabastecimento de água durante as inundações de abril e maio de 2024, realizar um levantamento das fontes de água disponíveis na região e desenvolver propostas de sistemas alternativos de abastecimento, seguindo uma abordagem quali-quantitativa de natureza aplicada e análise técnica-econômica das alternativas. O desenvolvimento metodológico baseia-se no modelo proposto por Heller e Pádua (2016) para análise de sistemas de abastecimento em situações críticas.

#### **3.2.1 Diagnóstico dos Impactos do Desabastecimento**

Esta etapa contemplou uma análise sistemática dos impactos causados pelo desabastecimento durante as inundações de 2024. A metodologia de análise de impactos seguiu as diretrizes estabelecidas por Howard e Bartram (2020), que forneceu indicadores quantitativos para a avaliação de sistemas de abastecimento em situações de emergência. Esse protocolo se concentra na quantidade mínima necessária de água, na frequência de abastecimento e nos riscos à saúde pública em situações de crise.

Para compreender as vulnerabilidades do sistema atual e suas consequências para a população, foi necessário um levantamento documental em órgãos municipais para estimar o impacto do desabastecimento no município (relatórios e dados oficiais da Corsan, INMET, ANA). Este diagnóstico foi feito considerando os impactos da cheia de maio de 2024.

#### **3.2.2 Caracterização dos Recursos Hídricos e Infraestrutura**

Esta abordagem seguiu as diretrizes estabelecidas pela NBR 12211 (ABNT, 1992) para estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água e as recomendações de Heller e Pádua (2016) para análise de vulnerabilidade em sistemas de abastecimento.

As recomendações de Heller e Pádua (2016) estão focadas na identificação de riscos e fraquezas que podem comprometer a eficiência, segurança e continuidade do serviço. Essas recomendações buscam uma abordagem sistêmica e integrada para avaliar vulnerabilidades de maneira abrangente, levando em consideração diversos aspectos técnicos, operacionais e socioambientais.

Para elaborar essa etapa foi necessário um levantamento técnico onde deve ser mapeado os recursos hídricos através de dados hidrológicos históricos (Hidroweb, Serviço Geológico do Brasil), além de uma análise na infraestrutura do município de Cruzeiro do Sul, através de diagnósticos das instalações existentes, análise da capacidade operacional, identificação dos pontos críticos do sistema, mapeamento das áreas sujeitas a inundações.

De acordo com a NBR 12211 (1992) o estudo de concepção de sistema público de água deve abordar os problemas relacionados com a configuração topográfica, os consumidores que serão atendidos, a quantidade de água exigida e as vazões de dimensionamento, se existir sistema de distribuição deve conter a integração ao novo sistema, pesquisa e definição dos mananciais de abastecimento, o sistema proposto deve apresentar total compatibilidade entre as partes, método de operação do sistema, definição das etapas de implantação, comparação técnico-econômica, estudo de viabilidade econômico-financeira.

### **3.2.3 Desenvolvimento de Propostas Alternativas**

A metodologia adotada neste trabalho contemplou a análise de alternativas descentralizadas e complementares de abastecimento de água, com foco em sistemas como poços artesianos, captação de água da chuva por meio de cisternas, reuso de águas cinzas e negras, bem como a proposta de implantação de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) própria no município de Cruzeiro do Sul, considerando a vulnerabilidade do atual sistema. Além disso, foram abordadas experiências e soluções adotadas em outros países, a fim de ampliar a base comparativa e incorporar boas práticas internacionais ao contexto local.

Para a formulação das propostas alternativas apresentadas neste estudo, foram consideradas a avaliação de sistemas disponíveis, a análise de casos similares em diferentes regiões do Brasil e do mundo, e a adequação às condições específicas do município de Cruzeiro do Sul. As soluções propostas estão organizadas de acordo com sua viabilidade e aplicabilidade

em horizontes de curto, médio e longo prazo, conforme critérios técnicos, operacionais e socioeconômicos.

### **3.2.3.1 Soluções a curto prazo – Poços**

Para os poços, foi realizado um levantamento da quantidade de poços cadastrados no município junto à base do SIAGAS, avaliando-se sua situação, uso, distribuição geográfica, profundidade média, tipo de aquífero explorado e potencial de produção (BRASIL, 2022).

foram analisadas as finalidades de uso dos poços existentes, sendo selecionados aqueles destinados ao abastecimento urbano. Em seguida, será realizada a soma das respectivas vazões outorgadas. Com base nesses dados, será realizada a comparação entre a demanda hídrica projetada para atendimento da população até o ano de 2044 e a disponibilidade total proveniente dos poços. Essa análise permitirá verificar a suficiência do sistema atual e a eventual necessidade de ampliação da capacidade de captação.

### **3.2.3.2 Soluções a médio prazo – Cisternas**

Para a análise de soluções alternativas de abastecimento, adotou-se o dimensionamento de cisternas para captação e armazenamento de água da chuva, considerando a área de cobertura do telhado e a precipitação média mensal da região, conforme os critérios propostos por Tomaz (2010). Essa estratégia visa reforçar a segurança hídrica local, alinhando-se à experiência do Programa Cisternas no semiárido brasileiro, que demonstrou a eficácia do armazenamento descentralizado de água pluvial em períodos de estiagem prolongada (Brito, 2017).

Segundo a NBR 15.527 (2007), o volume de chuva que pode ser aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como a eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial (Fisrt flush), calculado pela seguinte fórmula:

$$V = P \times A \times C \times \eta \quad (1)$$

Onde:

V = volume da cisterna (L);

P = precipitação média mensal (mm);

A = área de coleta;

C = coeficiente de escoamento superficial da cobertura, coeficiente de Runoff (adimensional);

$\eta$  (first flush) = é a eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial.

A NBR 15527 (2007) cita que a eficiência do aproveitamento de água de chuva é a multiplicação do runoff pela eficiência do dispositivo para retirada do first flush. Como o runoff geralmente em telhados é 0,95 e a eficiência para retirada do first flush é de 0,85 então o produto  $0,95 \times 0,85 = 0,80$  e dizemos então que aproveitamos 80% da água de chuva que cai em um telhado.

As águas pluviais coletadas serão destinadas para uso interno não potável como bacias sanitárias, e uso externo para limpeza de pátios, irrigação de jardim e lavagem de carro.

Para aplicação do cálculo de volume, foi feito como exemplo o dimensionamento para uma residência de 140 m<sup>2</sup> de área de telhado e um ginásio de 1600 m<sup>2</sup> de área de telhado no município de Cruzeiro do Sul, onde as áreas de telhado serão retiradas do Google Earth.

Para a estimativa da demanda hídrica residencial, foram adotados os parâmetros propostos por Tomaz (2010). Esses valores para estimativa da demanda residência estão na Figura 25 a seguir.

Figura 25 - Parâmetros para estimativa de demanda residencial de água

Uso interno	Unidades	Parâmetros		
		Inferior	Superior	Mais provável
Gasto mensal	m <sup>3</sup> /pessoa/mês	3	5	4
Número pessoas na casa	pessoa	2	5	3,5
Descarga na bacia	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18	9
Vazamento bacias sanitárias	Porcentagem	0	30	9
Frequência de banho	Banho/pessoa/dia	0	1	1
Duração do banho	Minutos	5	15	7,3
Vazão dos chuveiros	Litros/segundo	0,08	0,30	0,15
Uso da banheira	Banho/pessoa/dia	0	0,2	0,1
Volume de água	Litros/banho	113	189	113
Máquina de lavar pratos	Carga/pessoa/dia	0,1	0,3	0,1
Volume de água	Litro/ciclo	18	70	18
Máquina de lavar roupa	Carga/pessoa/dia	0,2	0,37	0,37
Volume de água	Litro/ciclo	108	189	108

Uso externo	Unidades	Valores
Casas com piscina	Porcentagem	0,1
Gramado ou jardim	Litros/dia/m <sup>2</sup>	2
Lavagem de carros	litros/lavagem/carro	150
Lavagem de carros: frequência	Lavagem/mês	4
Mangueira. de jardim 1/2"x20m.	Litros/dia	50
Manutenção de piscina	litros/dia/m <sup>2</sup>	3
Perdas p/ evaporação em piscina	Litros/dia/m <sup>2</sup>	5,75
Reenchimento de piscinas	anos	10
Tamanho da casa	m <sup>2</sup>	30 a 450
Tamanho do lote	m <sup>2</sup>	125 a 750

Fonte: Tomaz (2010).

A precipitação média mensal de Cruzeiro do Sul (RS) foi obtida com base nos dados climatológicos da Univates, correspondentes ao período de 2015 a 2024, apresentando valor médio de 160 mm/mês que constam no Apêndice B.

Considerou-se, para as bacias sanitárias, um volume médio de 6,8 litros por descarga, com ocupação média de 4 pessoas por residência e frequência de uso de 5 descargas por pessoa ao dia. Em relação ao consumo externo, referente à irrigação de jardins e à limpeza de pátios, adotou-se uma demanda de 2 L/dia/m<sup>2</sup>, com frequência de 2 aplicação semanal e 1 lavagem de carro por semana, consumo de 150 L/lavagem.

A estimativa de demanda hídrica para o ginásio baseou-se no uso das bacias sanitárias, considerou-se um total de 8 unidades instaladas. Projetou-se a utilização do espaço com uma

frequência semanal de 2 vezes por semana, com participação média de 100 pessoas por evento. Adotou-se uma frequência média de 4 descargas por pessoa por evento. Também foi considerada a necessidade de consumo adicional de água para a limpeza interna do ginásio que será feito 2 vezes no mês.

O consumo per capita diário utilizado nos cálculos corresponde ao valor determinado previamente no dimensionamento da Estação de Tratamento de Água (ETA), sendo aplicado como base para estimativas complementares.

Para saber o volume mensal necessário gasto nas bacias sanitárias multiplicou-se quantidade de pessoas, pela frequência de uso, por 30 dias, pelo volume médio de descargas. Para a rega de jardim e limpeza de pátio o cálculo é feito pela área multiplicado pelo volume pela frequência.

Dessa forma, foi possível realizar a comparação entre a demanda estimada de água não potável, destinada a usos como descargas sanitárias, irrigação e limpeza, e o volume potencialmente captado por meio das coberturas dos telhados, considerando-se os dados pluviométricos da região e a área de captação disponível. Trouxe-se sugestões de aplicação desse sistema para o município.

### **3.2.3.3 Soluções a longo prazo**

#### **3.2.3.3.1 Estação de Tratamento de Água (ETA)**

Foi proposto a implantação desse sistema, visto que o município não tem estação de tratamento de água própria, dependendo do município de Lajeado para abastecimento.

Para dimensionamento foi necessário saber a estimativa de crescimento da população do município de Cruzeiro do Sul, que foi feita através do método geométrico, característicos para populações médias.

De acordo com Gomes (2004), o método geométrico estabelece que a evolução da população ocorra de forma geométrica, ou seja, segue a mesma linha que as populações

encontradas em anos anteriores. Para tanto é necessário o conhecimento de dois valores da população como P1 e P2 nos intervalos respectivos t1 e t2 em anos.

Baseado em Heller e Pádua (2010), a determinação da projeção populacional pelo método geométrico pode ser obtida a partir das equações abaixo:

$$r = \left( \left( \sqrt[n]{\frac{Pop.Final}{Pop.Incial}} \right) - 1 \right) * 100 \quad (2)$$

$$Pt = P0 * (1 + i)^{t-t0} \quad (3)$$

Onde:

r (i) = taxa de crescimento populacional anual

Pt = População estimada para o ano (t)

A projeção para o município foi feita utilizando dados censitários de 2000, 2010, 2020, 2024 para uma projeção de um período de alcance de 20 anos de projeto.

O consumo *per capita* (qpc) é estimado a partir da equação (3), conforme Heller e Pádua (2010).

$$Q = \frac{P * qpc}{86400} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão em l/s;

P = população em habitantes;

qpc = consumo per capita em l/hab/dia;

86400 = segundos de 1 dia

Com esses dados foi possível calcular o consumo total diário e anual para a população atual e a projeção da população, onde a demanda total diária é obtida pela multiplicação da

população pelo consumo per capita, este valor multiplicado por 365 resulta no consumo total anual.

Para se determinar a vazão do sistema, foi considerado as situações de demanda máxima, de modo a evitar problemas de insuficiência durante alguns dias do ano (Tsutiya, 2006) e para cada período estabelecido no horizonte de projeto para determinar a vazão é necessário, conforme Gomes (2004) o coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ), no qual foi adotado 1,2 e coeficiente de hora de maior consumo ( $k_2$ ) de 1,5.

De acordo com Heller e Pádua (2010), é essencial considerar no dimensionamento, os consumos internos do próprio sistema de abastecimento de água, como aqueles destinados à lavagem das unidades que integram a Estação de Tratamento de Água (ETA) e à preparação dos insumos químicos. Além disso, conforme aponta Tsutiya (2006), o consumo de água pela ETA pode variar entre 1% e 5% da vazão total produzida. Diante disso, para este trabalho foi adotado, de forma conservadora, um valor médio de 3% do volume produzido.

As equações das vazões para cada etapa do sistema de abastecimento, conforme Tsutiya (2006) podem ser:

Vazão de captação, estação elevatória e adutora até a ETA (inclusive)

$$Q_1 = \left( \frac{K_1 * P * p_{qc}}{86.400} + Q_{esp} \right) \times C_{ETA} \quad (5)$$

Vazão da ETA até o reservatório

$$Q_2 = \left( \frac{K_1 * P * p_{qc}}{86.400} + Q_{esp} \right) \quad (6)$$

Onde:

P = população;

$p_{qc}$  = consumo per capita;

$k_1$  = coeficiente do dia de maior consumo;

$Q_{esp}$  = vazão específica

$C_{ETA}$  = consumo na ETA

Também é necessário a definição da vazão média  $Q_m$  e  $Q_{m\acute{a}x}$  pelas fórmulas:

$$Q_m = \left( \frac{P \cdot p_{qc}}{86.400} \right) \quad (7)$$

$$Q_{max} = Q_m \times K \quad (8)$$

Onde:

P = população

$p_{qc}$  = consumo per capita

K = coeficiente geralmente 1,2 a 1,5

A coagulação foi projetada para promover a desestabilização das partículas suspensas na água por meio da adição e mistura rápida de coagulantes.

A NBR 12216 (1992) cita que caso não puder ser realizado ensaios usar o gradiente de velocidade entre  $700 \text{ s}^{-1}$  e  $1100 \text{ s}^{-1}$  e um tempo de mistura não superior a 5s .

O número de Camp tem como fundamento que tanto o gradiente de velocidade quanto o tempo de detenção influenciam a probabilidade de choques entre as partículas desestabilizadas, então o produto deles fornece uma medida adimensional das oportunidades de choque, que devem ser de 300 a 1600 para a mistura rápida (Richter, 2009).

Para a coagulação foi considerada a mistura pela calha Parshall (Azevedo Netto, 1987) que é um dispositivo que pode servir como medidor de vazão e misturador rápido, na forma de um canal aberto com dimensões padronizadas, conforme Figura 26.

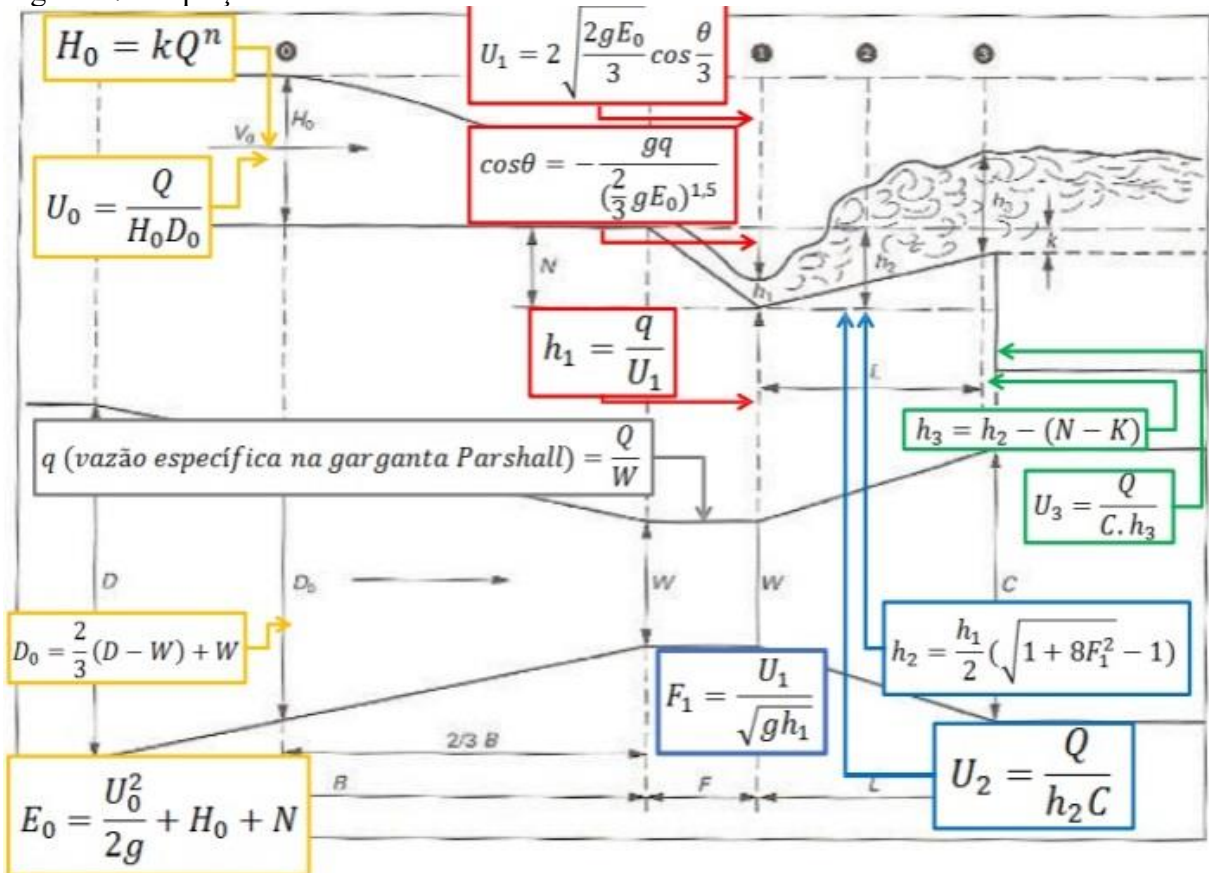
Figura 26 - Identificação das seções da Calha Parshall



Fonte: Da autora, 2025.

Foi adotado a Calha Parshall de 4' (1,22m) de garganta (W) e seu dimensionamento está descrito na Figura 27.

Figura 27 - Equações de dimensionamento da Calha Parshall



Fonte: Da autora, adaptado de Richter (2009, p. 114).

Onde:

$H_0$  = altura da lâmina d'água (m);

$D_0$  = largura da calha neste ponto (m);

$U_0$  = velocidade da água neste ponto (m/s);

$q$  = vazão específica na garganta da calha (m/m.s);

$E_0$  = energia hidráulica disponível na seção 0 (m);

$\cos \theta$  = ângulo de inclinação na água na região do ressalto (°);

$U_1$  = velocidade da água na seção 1 (m/s);

$h_1$  = altura da lâmina d'água na seção 1 da calha (m);

$F1$  = número de Froude para identificar o tipo de ressalto (o ressalto desejável é o estável, com número Froude entre 4,5 a 9, podendo ser aceito o ressalto fraco entre 1,7 a 2,5, devendo evitar o ressalto ondulado e oscilante);

$h_2$  = altura da lâmina d'água na seção 2 da calha (m);

$U_2$  = velocidade da água na seção 2 da calha (m/s);

$h_3$  = altura da lâmina d'água na seção 3 da calha (m);

$U_3$  = velocidade da água na seção 3 da calha (m/s);

$h$  = perda de carga correspondente a energia hidráulica dissipada no volume de água compreendido entre a seção 1 e 2 (m);

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2} \quad (9)$$

$t$  = tempo de mistura do coagulante na água (s);

$$t = \frac{L}{(U_1 + U_2)/2} \quad (10)$$

$G$  = gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ );

$$G = \sqrt{\frac{g\rho}{\mu} \chi \frac{h}{t}} \quad (11)$$

$NC$  = número de camp

$$NC = G \times t \quad (12)$$

As dimensões padronizadas de calhas Parshall (mm) foram descritas na Figura 28 e o valores de  $k$  e  $n$  para as equações estão na Figura 29.

Figura 28 - Dimensões da calha Parshall - 4'

<i>W</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>L</i>	<i>K</i>	<i>N</i>	
9"	229	880	864	380	575	763	305	457	76	114
1'	305	1.372	1.344	610	845	915	610	915	76	229
1 ½'	457	1.449	1.420	762	1.026	915	610	915	76	229
2'	610	1.525	1.496	915	1.207	915	610	915	76	229
3'	915	1.677	1.645	1.220	1.572	915	610	915	76	229
4'	1.220	1.830	1.795	1.525	1.938	915	610	915	76	229
5'	1.525	1.983	1.941	1.830	2.303	915	610	915	76	229
6'	1.830	2.135	2.090	2.135	2.667	915	610	915	76	229
7'	2.135	2.288	2.240	2.440	3.030	915	610	915	76	229
8'	2.440	2.440	2.392	2.745	3.400	915	610	915	76	229

Fonte: Richter (2009, p. 115).

Figura 29 - Valores de *k* e *n* para equação

	<i>W</i> (mm)	<i>k</i>	<i>n</i>
9"	229	1,486	0,633
1"	305	1,276	0,657
1 ½"	460	0,966	0,650
2"	610	0,795	0,640
3"	915	0,608	0,639
4"	1.220	0,505	0,634
5"	1.525	0,436	0,630
6"	1.830	0,389	0,627
8"	2.440	0,324	0,623

Fonte: Richter (2009, p. 115).

Para dimensionar os flocladores foi considerado que eles serão de mistura hidráulica tipo chicanas de fluxo vertical, pois Richter (2009) cita que para vazão até 75 L/s é recomendado esse tipo de fluxo.

Ainda comenta que para tornar os flocladores hidráulicos mais flexíveis as variações de vazão, é importante a seleção adequada do gradiente de velocidade. A NBR 12216 (1992) cita que no tanque de floclação o período de detenção e o gradiente de velocidade devem ser determinados por meios de ensaios e podem ser adotados valores de tempo entre 20 min e 30 min para flocladores hidráulicos, foi adotado 20 min. Considerando o gradiente entre o limite máximo de  $70 \text{ s}^{-1}$  na entrada e o mínimo de  $10 \text{ s}^{-1}$  na saída dos flocladores foi utilizado o gradiente de velocidade de  $40 \text{ s}^{-1}$  na seção 1,  $30 \text{ s}^{-1}$  na seção 2 e  $10 \text{ s}^{-1}$  na seção 3.

O dimensionamento do floculador foi feito pelas seguintes equações:

T = tempo (s)

$$T = t \times 60 \quad (13)$$

VT = volume total (m<sup>3</sup>)

$$VT = T \times Q \quad (14)$$

LT = largura total (m)

$$LT = \frac{VT}{L \times H} \quad (15)$$

Onde:

L= comprimento (adotado 10m considerando aproveitar uma parede comum ao tanque do decantador)

H = profundidade média da água (adotado 0,80m)

LS = largura da seção (m)

$$LS = \frac{LT}{n} \quad (16)$$

Onde:

n= número de seções (adotado 3)

Número de canais entre as chicanas

$$m = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho} \times \frac{18}{13+9f} \left(\frac{A}{Q}\right)^2 T} \quad (17)$$

Onde:

f = coeficiente da fórmula de Darcy (0,025)

$$Q = \text{Vazão (m}^3/\text{s)} \quad (18)$$

T = tempo de floculação (s)

A = área total do canal ou trecho (m<sup>2</sup>)

Espaçamento entre chicanas

$$e = \frac{L}{m} \quad (19)$$

Tanto para a coagulação quanto para floculação foi adotado a viscosidade ( $\mu$ ) de 0,001071 para temperatura d'água de 17,5° e densidade ( $\rho$ ) de 998,68 kg/m<sup>3</sup>.

A área da Estação de Tratamento de Água (ETA) foi estimada com base na taxa de aplicação superficial (TAS) das unidades de decantação. Considerou-se que a área ocupada pelos decantadores representa aproximadamente 50% da área total da ETA, conforme prática usual em projetos desse tipo. Para o dimensionamento, adotou-se a velocidade de sedimentação de 25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia, em consonância com as orientações da NBR 12216 (1992), que estabelece parâmetros técnicos para o projeto de unidades de tratamento de água.

Conforme Richter (2009) o dimensionamento das unidades de decantação foi realizado através da fórmula:

$$A = \frac{Q}{v_s} \quad (20)$$

Onde:

A = área de decantação em m<sup>2</sup>

Q = Vazão m<sup>3</sup>/s

V<sub>s</sub> = Velocidade de sedimentação em m/s.

Para parâmetros de projeto da filtração conforme a NBR 12216 (1992), a taxa de filtração foi determinada por um filtro-piloto, não sendo possível as taxas máximas para filtro de camada simples, 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia e para filtro camada dupla 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia e para filtros de uma camada área < 70 m<sup>2</sup> e filtros de camada dupla 170 m<sup>2</sup> > área > 40 m<sup>2</sup>.

São parâmetros para dimensionamento de unidades de filtração, conforme Azevedo Netto (2017):

Taxa de filtração (q)

$$q = \frac{Q}{At} \quad (21)$$

Onde:

$q$  = taxa de filtração ( $m^3/m^2 \times dia$ )

$Q$  = Vazão ( $m^3/d$ )

$At$  = área total de filtração ( $m^2$ )

Número de filtros (N)

$$N = \frac{At}{Af} \quad (22)$$

Onde:

$N$  = número de filtros

$At$  = área total de filtração ( $m^2$ )

$Af$  = área de cada filtro ( $m^2$ )

São indicações de projeto para números de filtros conforme Figura 30.

Figura 30 - Número de filtros por vazão

Q L/s	N
50	3
250	4*
500	6
1 000	8
1 500	10
2 000	12
5 000	18
10 000	24
20 000	30

Fonte: Azevedo Netto (1987, p. 197).

A NBR 12216 (1992) sugere trabalhar com dupla camada, composta por areia média e antracito:

- altura livre acima da água 0,20 a 0,40m
- camada de água a filtrar 1,40 a 1,80m

- camada de antracito 0,45 a 0,60m
- camada de areia 0,20 a 0,30m
- camada suporte de pedregulho 0,20 a 0,50m
- altura total 2,45 a 3,60m

#### Comprimento e largura

$$\frac{B}{L} = \frac{N+1}{2N} \quad (23)$$

Onde:

L = comprimento filtro (m)

B = largura filtro (m)

N = número de filtros

#### Vazão de lavagem (Q1)

$$Q1 = Vasc \times A \quad (24)$$

Onde:

Q1 = vazão de lavagem (m<sup>3</sup>/min)

Vasc = velocidade ascensional (m/min)

A = área superficial do filtro (m<sup>2</sup>)

A vazão de lavagem em contracorrente deve promover a expansão do leito filtrante de 20% a 30% (NBR 12216, 1992). A velocidade ascensional foi definida pela porcentagem da expansão do leito e o diâmetro efetivo da areia, adotado 25% e 0,5 m/min.

#### Volume de reservação (Vr)

$$Vr = Q1 \times t \quad (25)$$

Onde:

Vr = volume de reservação (m<sup>3</sup>)

$Q_1$  = vazão de lavagem ( $m^3/min$ )

$t$  = período de lavagem (min), adotado 15min

Volume mínimo a ser mantido o equivalente a limpeza de dois filtros por um período não inferior a 10 min (tempo de lavagem de 10 a 15 min) conforme a NBR 12216 (1992).

Para a etapa de desinfecção que tem como objetivo eliminar microrganismos patogênicos e garantir a potabilidade da água foi preciso definir o agente desinfetante o mais comum é o Hipoclorito de sódio (NaOCl) e a concentração de cloro residual desejada que segundo a Portaria GM/MS nº 888 (Brasil, 2021) o mínimo na rede é de 0,2 mg/L, máximo permitido é 5,0 mg/L, o valor de projeto recomendado é entre 1,0 e 2,0 mg/L. O tempo mínimo de contato necessário recomendado é de 20 a 30 min.

#### Dimensionamento do tanque de contato

$$V = Q \times T \quad (26)$$

Onde:

$V$  = volume do tanque ( $m^3$ )

$Q$  = vazão da ETA ( $m^3/h$ )

$T$  = tempo de contato (h)

#### Dosagem do cloro

$$m = C \times Q \quad (27)$$

Onde:

$m$  = massa de cloro (kg/d)

$C$  = dosagem de cloro ( $g/m^3$ )

$Q$  = vazão ( $m^3/d$ )

Para a etapa de fluoretação que consiste na adição controlada de composto de flúor foi necessário saber a concentração recomendada, que de acordo com a Portaria SES nº 415 (Governo do Estado, 2023) são consideradas dentro do padrão de potabilidade as águas que apresentam a concentração de íon fluoreto entre 0,6 a 0,9 mg/L, nesse caso será adotado 0,8 mg/L.

E para calcular consumo diário (Cd) de flúor multiplica-se a vazão da ETA (m<sup>3</sup>/d) o fator de proporcionalidade (1,263) e o teor de íon fluoreto desejado, valor encontrado em kg/d.

$$Cd = QETA \times \text{fator proporcionalidade} \times \text{teor íon fluoreto} \quad (28)$$

Vazão de ácido a ser aplicada é dada pela fórmula:

$$V = \frac{QETA \times \text{teor de íon flureto} \times \text{fator proporcionalidade}}{\text{concentração do ácido}} \quad (29)$$

Após estimar a população futura e dimensionamento da estação, realizou-se uma análise das áreas disponíveis no município de Cruzeiro do Sul para a implantação do sistema. Esse estudo foi conduzido com o auxílio de mapas, considerando aspectos como as características topográficas, a possibilidade de atender ao maior número possível de economias, a definição do percurso ideal para as linhas adutoras e para a rede de distribuição. A escolha também priorizou o abastecimento urbano por gravidade, uma vez que esse tipo de sistema apresenta menor risco de falhas e reduz os custos operacionais, principalmente pela dispensa do uso de bombas.

Levando em consideração conforme cita a NBR 12216 (1992) o terreno deve estar situado em local livre de enxurradas e acima da cota máxima da enchente, para não comprometer a operação.

### 3.2.3.3.2 Água de reuso e Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)

Sobre a água de reuso a pesquisa adotou uma abordagem qualitativa de caráter exploratório, fundamentada em revisão bibliográfica e documental, com o objetivo de identificar e analisar estratégias de reabastecimento de água em cenários de emergência hídrica. Foram investigadas soluções voltadas à reutilização de águas cinzas e negras, com destaque

para tecnologias aplicáveis em contextos residenciais, urbanos e industriais, considerando sua viabilidade técnica, eficiência e potencial de mitigação de crises de abastecimento.

A coleta de dados secundários foi realizada por meio da análise de literatura técnica e científica, incluindo livros, artigos acadêmicos, normas técnicas e relatórios institucionais. Também foi avaliada a aplicabilidade de sistemas descentralizados de tratamento, com ênfase nos Wetlands Construídos, visando a identificação de soluções de baixo custo e fácil manutenção para comunidades vulneráveis e empreendimentos residenciais ou industriais planejados.

Como parte da abordagem metodológica, este trabalho incluiu a análise exploratória do mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), adotado como referência conceitual e prática para soluções sustentáveis voltadas à segurança hídrica. A pesquisa sobre o PSA teve caráter qualitativo e documental, baseada na revisão de literatura técnica, legislações ambientais e experiências nacionais e internacionais relacionadas à preservação de nascentes e mananciais.

A finalidade dessa análise foi compreender o funcionamento do PSA como uma ferramenta de incentivo à proteção de áreas estratégicas para a recarga hídrica, especialmente em propriedades rurais situadas nas bacias hidrográficas. A inclusão do PSA no estudo busca ampliar o escopo das alternativas de abastecimento, destacando modelos de gestão hídrica descentralizada e preventiva que contribuem para a redução de vulnerabilidades em contextos de desabastecimento.

No contexto deste trabalho, o PSA foi apresentado não como uma proposta direta de engenharia hidráulica, mas como um instrumento de suporte à manutenção da oferta hídrica, por meio da valorização de serviços ecossistêmicos prestados por proprietários rurais.

### **3.2.4 Análise técnica-econômica das alternativas**

A seleção de alternativas para reabastecimento de água em situações de emergência requer análise criteriosa que considere não apenas a viabilidade técnica, mas também os aspectos econômicos, temporais e de sustentabilidade. Conforme Heller e Pádua (2010), a escolha da solução mais adequada para um problema de abastecimento de água não deve se basear exclusivamente em critérios como custo, segurança ou inovação tecnológica, mas sim na sua compatibilidade com a realidade social onde será implementada.

Para esta análise, foram considerados cinco critérios fundamentais baseados nas diretrizes de Tsutiya (2006) e nas características específicas de sistemas de emergência: (1) custo de implantação, (2) custo operacional e manutenção, (3) tempo de implementação, (4) confiabilidade em emergências e (5) capacidade de atendimento.

Ainda foi feita uma análise individual das alternativas, análise comparativa e custo-benefício dos sistemas e recomendações técnico-econômicas priorizando soluções de menor custo e maior rapidez inicial de implantação.

## 4 RESULTADOS

Esse capítulo aborda os resultados de acordo com as etapas da metodologia proposta para o município de Cruzeiro do Sul.

### 4.1 Diagnóstico dos Impactos do Desabastecimento decorrentes de desastres naturais

Os eventos extremos impactaram 478 municípios, o que corresponde a 96% dos municípios do RS (Defesa Civil, 2024).

No município de Cruzeiro do Sul/RS, aproximadamente 70% da população local, o que representa cerca de 8.800 pessoas, ficaram temporariamente sem abastecimento de água potável.

Esta etapa contempla uma análise sistemática dos impactos causados pelo desabastecimento de água durante as inundações de maio de 2024, trazendo dados, planilhas, gráficos contendo informações, como séries históricas de níveis de chuva, precipitação acumulada, informações sobre instalações existentes e demais assuntos pertinentes ao tema.

A Figura 31 mostra o ranking da data de ocorrência e do nível das 10 maiores inundações registradas em Lajeado/RS, considerando o período de 1912 a 2024 (Moraes *et al*, 2024).

Figura 31 - Ranking das 10 maiores inundações

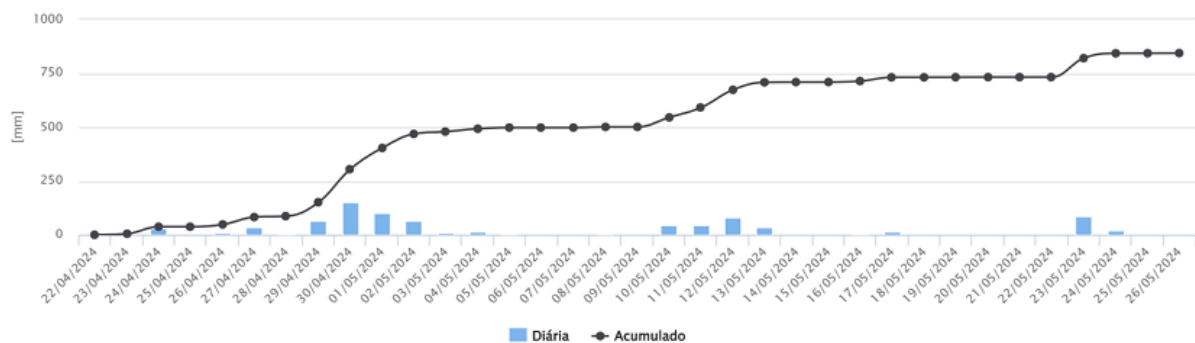
Ranking	Data da Cheia	COTA (m)
1	2/5/2024	33,66
2	5/9/2023	29,53
3	19/11/2023	28,94
4	5/5/1941	28,87
5	05/04/1956	27,81
6	13/5/2024	27,78
7	1/9/1912	27,73
8	9/9/1928	27,4
9	9/7/2020	27,39
10	1919	27,18

Fonte: Moraes *et al* (2024).

Os maiores eventos de cheias foram nos anos de 2023 e 2024, sendo que em 2024 superou em 4,13m a inunda o de 2023.

No município de Cruzeiro do Sul, o evento climático registrado no final de abril e início de maio de 2024, apresentou valores muito elevados de precipita o, causando inunda es. A esta o pluviométrica do CEMADEN na Secretaria de Agricultura, registrou uma concentra o elevada nos últimos 35 dias na região (Figura 32), no dia 30/04/2024 o nível de chuva chegou a mais de 150 mm acumulados em 24 horas (Bellettini e Hoelzel, 2024).

Figura 32 - Precipita o acumulada em 35 dias



Fonte: Bellettini e Hoelzel, retirado da Esta o CEMADEN (2024).

Através de um levantamento de dados obtidos por boletins diários sobre o impacto das chuvas no Rio Grande do Sul (Tabela 2), produzidos pela Secretaria de Comunica o do Estado, desde o início dos eventos em 30 de abril de 2024, podemos ter a dimensão do impacto das chuvas no que se refere ao desabastecimento de água, energia elétrica, telefonia e internet sofridos no estado (Governo do Estado, 2024).

Tabela 2 - Boletim sobre o impacto das chuvas no RS

DATA	ENERGIA ELÉTRICA				ÁGUA		TELEFONIA/ INTERNET		
	CEEE	% clientes	RGE	% clientes	CORSAN	% clientes	TIM	VIVO	CLARO
30/04/2024	40.800	s.i.	40.800	s.i.	32.073	s.i.	23	0	10
01/05/2024	30.800	1,70	138.000	4,50	441.455	14	67	34	35
02/05/2024*	33.305	1,85	259.000	8,30	543.753	17	86	52	42
03/05/2024	50.500	2,80	311.500	7,60	441.120	14	63	18	53
04/05/2024	123.600	6,85	294.600	9,50	1.056.877	34	90	43	53
05/05/2024	163.000	9,00	261.000	8,51	854.486	27	34	40	24
06/05/2024	175.252	9,50	270.000	8,80	750.364	26	38	28	19
07/05/2024	221.326	12,30	233.600	7,60	606.744	21	16	35	6
08/05/2024	205.563	11,40	253.500	8,30	523.311	18	18	35	6
09/05/2024	179.101	9,94	184.200	5,90	438.230	15	12	55	3
10/05/2024	163.313	9,06	151.700	4,90	315.234	11	3	20	
11/05/2024	144.517	8,00	136.800	4,50	193.164	7	4	22	
12/05/2024	s.i.	0,00	132.400	4,30	165.446	6	2	6	
13/05/2024	137.943	7,60	143.500	4,70	162.662	6	2	23	
14/05/2024	125.456	6,90	132.600	4,30	159.662	5		7	
15/05/2024	111.468	6,10	129.700	4,20	136.118	5	1	5	
16/05/2024	119.810	6,60	123.200	4,00	129.977	4		5	
17/05/2024	103.801	5,70	114.600	3,70	117.586	4		2	
18/05/2024	89.000	4,90	106.800	3,50	39.589	1		3	
19/05/2024	82.850	4,50	s.i.	0,00	39.589	1		4	
20/05/2024	77.894	4,20	98.300	3,20	39.589	1		3	
21/05/2024	81.795	4,40	100.000	3,30	39.589	1		3	
22/05/2024	68.681	3,70	88.100	2,90		0		3	
23/05/2024	86.322	4,60	90.900	3,00		0		3	
24/05/2024	106.342	5,60	97.200	3,20		0		2	
25/05/2024	52.750	2,70	74.000	2,40		0		2	
26/05/2024	43.646	2,20	67.500	2,20		0		3	
27/05/2024*	38.804	1,90	65.400	2,10		0		2	
28/05/2024	67.533	3,20	47.200	1,50		0		1	
29/05/2024	39.776	1,90	37.900	1,20		0		1	
30/05/2024	20.682	1,00	28.200	0,90		0			
31/05/2024*	19.385	0,90	27.600	0,80		0			
01/06/2024*	12.249	0,68	17.800	0,58		0			

Fonte: Da autora, adaptado do Governo do Estado (2024).

Os dados foram coletados às 18 horas, salvo os dias que apresentam o asterisco (\*) que por falta de dados foram coletados às 9 horas, as células vazias informam que foram normalizados o abastecimento de água e o sinal de internet/telefonia.

A Tabela 3 traz os níveis dos principais rios do estado no período de 30/04/2024 a 01/06/2024.

Tabela 3 - Nível dos principais rios

Acima da cota de inundação
Acima da cota de alerta
Acima da cota de atenção

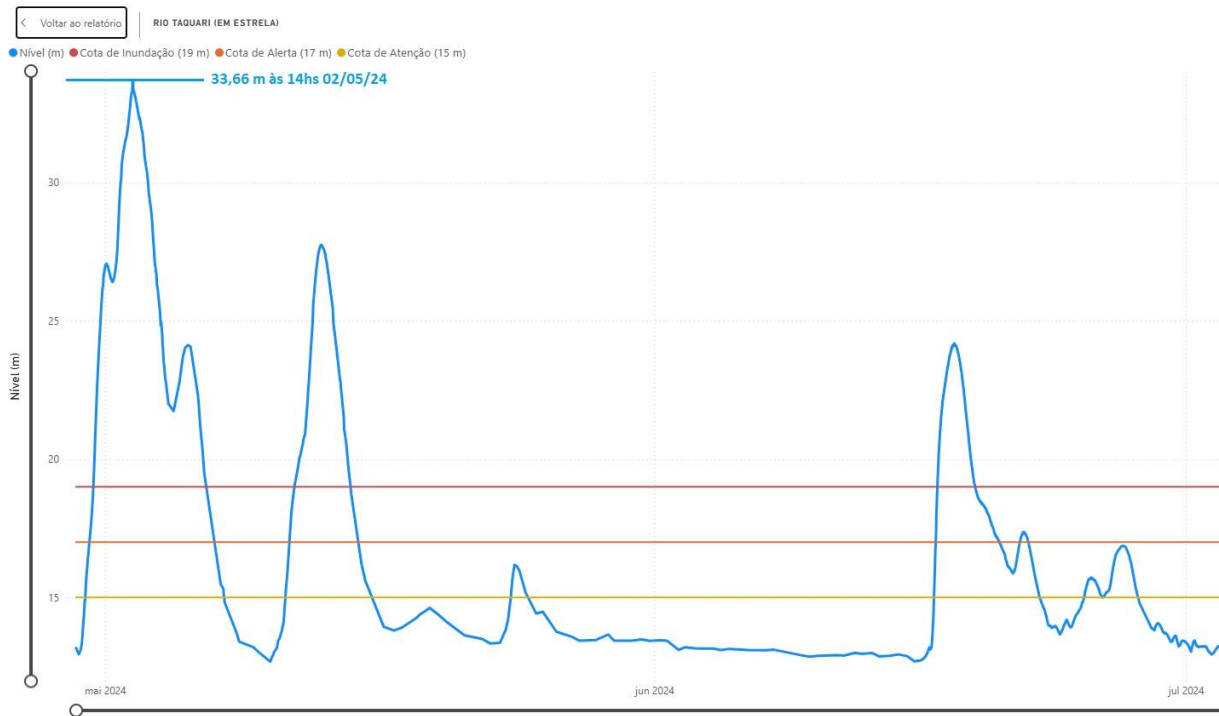
DATA	GUAIBA	RIO DOS SINOS (SÃO LEOPOLDO)	GRAVATAÍ	TAQUARI (ESTRELA)	CAÍ (SÃO SEB. DO CAÍ)	LAGOA DOS PATOS (LARANJAL)
30/04/2024	sem dados	4,50 m	4,15 m	26,58 m	15,58 m	
01/05/2024	sem dados	4,88 m	5,00 m	30,70 m	16,41 m	1,00 m
02/05/2024	sem dados	6,48 m	5,48 m	33,66 m	17,60 m	1,10 m
03/05/2024	4,69 m	7,94 m	5,82 m	32,20 m	17,55 m	1,36 m
04/05/2024	5,18 m	8,09 m	6,02 m	25,73 m	12,70 m	1,56 m
05/05/2024	5,27 m	7,85 m	6,21 m	24,12 m	12,08 m	1,90 m
06/05/2024	5,26 m	7,85 m	6,23 m	22,30 m	sem dados	2,00 m
07/05/2024	5,22 m	7,38 m	6,19 m	15,05 m	9,98 m	2,18 m
08/05/2024	5,03 m	6,99 m	6,17 m	sem dados	8,08 m	2,15 m
09/05/2024	4,88 m	6,62 m	6,04 m	13,20 m	7,70 m	2,25 m
10/05/2024	4,70 m	6,23 m	5,93 m	13,75 m	8,40 m	2,48 m
11/05/2024	4,59 m	5,89 m	5,83 m	19,98 m	10,00 m	sem dados
12/05/2024	4,64 m	5,70 m	5,80 m	26,80 m	15,34 m	sem dados
13/05/2024	5,05 m	6,29 m	5,87 m	24,80 m	15,80 m	sem dados
14/05/2024	5,22 m	6,88 m	5,83 m	18,66 m	13,77 m	2,25 m
15/05/2024	5,13 m	7,05 m	5,82 m	sem dados	11,20 m	sem dados
16/05/2024	4,84 m	7,01 m	5,78 m	sem dados	9,34 m	2,76 m
17/05/2024	4,62 m	6,47 m	5,71 m	sem dados	8,20 m	2,71 m
18/05/2024	4,54 m	6,00 m	5,62 m	14,37 m	8,22 m	2,63 m
19/05/2024	4,28 m	5,59 m	5,51 m	14,62 m	7,30 m	2,75 m
20/05/2024	4,23 m	5,23 m	5,39 m	14,09 m	6,30 m	2,54 m
21/05/2024	4,01 m	4,94 m	5,27 m	13,63 m	5,60 m	2,60 m
22/05/2024	3,90 m	4,65 m	5,13 m	13,50 m	5,06 m	2,47 m
23/05/2024	3,91 m	4,61 m	5,19 m	14,21 m	5,84 m	2,48 m
24/05/2024	4,25 m	4,70 m	5,37 m	16,04 m	10,20 m	1,92 m
25/05/2024	4,09 m	4,76 m	5,40 m	14,48 m	10,34 m	2,28 m
26/05/2024	4,04 m	4,74 m	5,40 m	sem dados	9,08 m	2,45 m

27/05/2024	3,88 m	4,81 m	5,40 m	13,44 m	7,92 m	2,50 m
28/05/2024	3,77 m	4,88 m	5,36 m	13,46 m	7,98 m	2,45 m
29/05/2024	3,90 m	4,88 m	5,33 m	sem dados	7,28 m	2,20 m
30/05/2024	3,74 m	4,81 m	5,26 m	13,44 m	6,98 m	2,28 m
31/05/2024	3,68 m	4,69 m	5,16 m	13,43 m	sem dados	2,29 m
01/06/2024	3,55 m	4,56 m	5,04 m	13,44 m	sem dados	2,26 m

Fonte: Da autora, adaptado do Governo do Estado (2024).

A Figura 33 traz o gráfico do Rio Taquari no dia e hora de maior pico da inundação, onde marca a cota de 33,66m.

Figura 33 - Gráfico da inundação



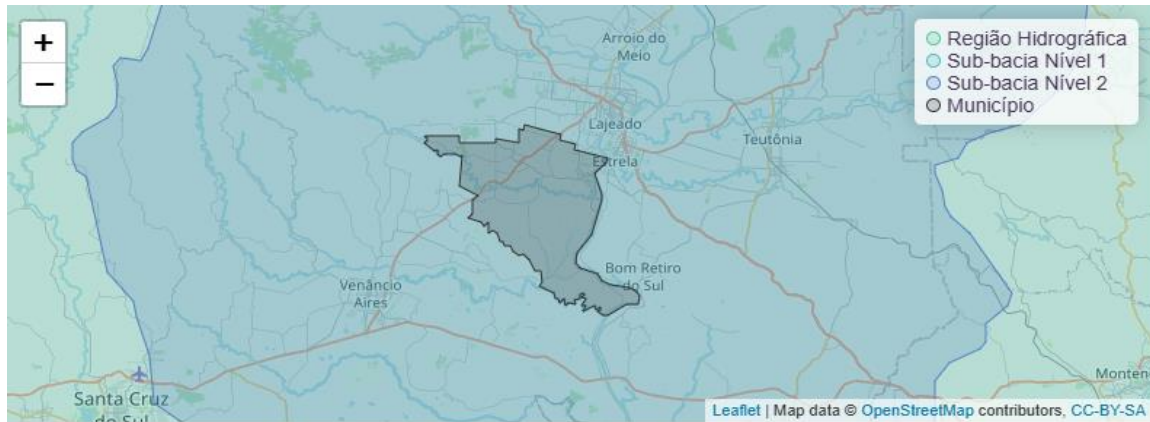
Fonte: Da autora, adaptado do Governo do Estado (2024).

## 4.2 Caracterização dos Recursos Hídricos e Infraestrutura

### 4.2.1 Mapeamento dos recursos hídricos

Cruzeiro do Sul é margeado pelo Rio Taquari e o principal efluente que cruza o município é o Arroio Sampaio. A cidade é abastecida pela Corsan de Lajeado. O mapa da Figura 34 (SNIRH/ANA), apresenta as bacias e sub-bacias hidrográficas presentes no município.

Figura 34 - Hidrografia Cruzeiro do Sul



Fonte: Da autora, adaptado de Infosanbas s.d.

Na Tabela 4 (SNIRH/ANA) é possível conhecer os seus principais mananciais de abastecimento, bem como identificar os principais rios (Infosanbas, s.d.).

Tabela 4 - Dados da Hidrografia de Cruzeiro do Sul

Região Hidrográfica	ATLÂNTICO SUL
Sub-bacia Nível 1	GUAÍBA
Sub-bacia Nível 2	TAQUARI
Unidade Estadual de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos	TAQUARI-ANTAS
Principais rios (percentual do rio dentro do município)	Arroio Sampaio (42,87%), Rio Taquari (33,86%), Arroio Grande (15,575)
Mananciais de abastecimentos	Rio Taquari / Subterrâneo
Tipo de manancial	Superficial / Subterrânea
Classificação do manancial	Manancial não vulnerável
Índice de segurança hídrica	Alta

Fonte: Da autora, adaptado de Infosanbas s.d.

#### 4.2.2 Diagnóstico das instalações de abastecimento de água existentes

Segundo dados do SNIS de abastecimento de água (Instituto Água e Saneamento, 2022), 61,23% da população total (7.528 habitantes) tem acesso ao serviço público de abastecimento

de água, o consumo médio de água por habitante é de 121,8 l/hab/dia, índice médio de perdas é de 35,41%, tarifa média de água R\$ 11,05/m<sup>3</sup>.

Conforme dados do censo de 2022, em Cruzeiro do Sul, 87,24% da população recebe água potável por rede geral de distribuição, geralmente vinculada a serviços públicos de abastecimento, conforme Figura 35 (Água e Saneamento, s.d.).

Figura 35 - Abastecimento de Água



\*Fonte, nascente ou mina; Carro-pipa; Água da chuva armazenada; Rios, açudes, córregos, lagos e igarapés; Outra

Fonte: Água e Saneamento / IBGE, Censo 2022.

De acordo com o cadastro do SIAGAS/CPRM, o município de Cruzeiro do Sul conta com 90 poços tubulares a CORSAN é responsável pela maior parcela do abastecimento de água.

Neumann (2015) descreve que, o abastecimento de água do município de Cruzeiro do Sul é feito pelo município de Lajeado, onde a água tratada pela ETA de Lajeado escoia por uma tubulação adjacente à Rua Rubem Feldens, localizada às margens do Rio Taquari até a estação de abastecimento de água tratada (EBAT) localizada no centro. A mesma destina (por recalque) a água tratada até um reservatório circular semi enterrado (R1) na Rua Conceição e deste ponto é destinada a dois reservatórios. O reservatório (R2) está localizado na Rua Juscelino Kubitschek e a água que escoada até este precisa ser recalçada. O reservatório (R3) está localizado na Rua Ida Helena Gregory e recebe água por gravidade do reservatório 1, conforme Figura 36.

Figura 36 - Estrutura existente da Corsan

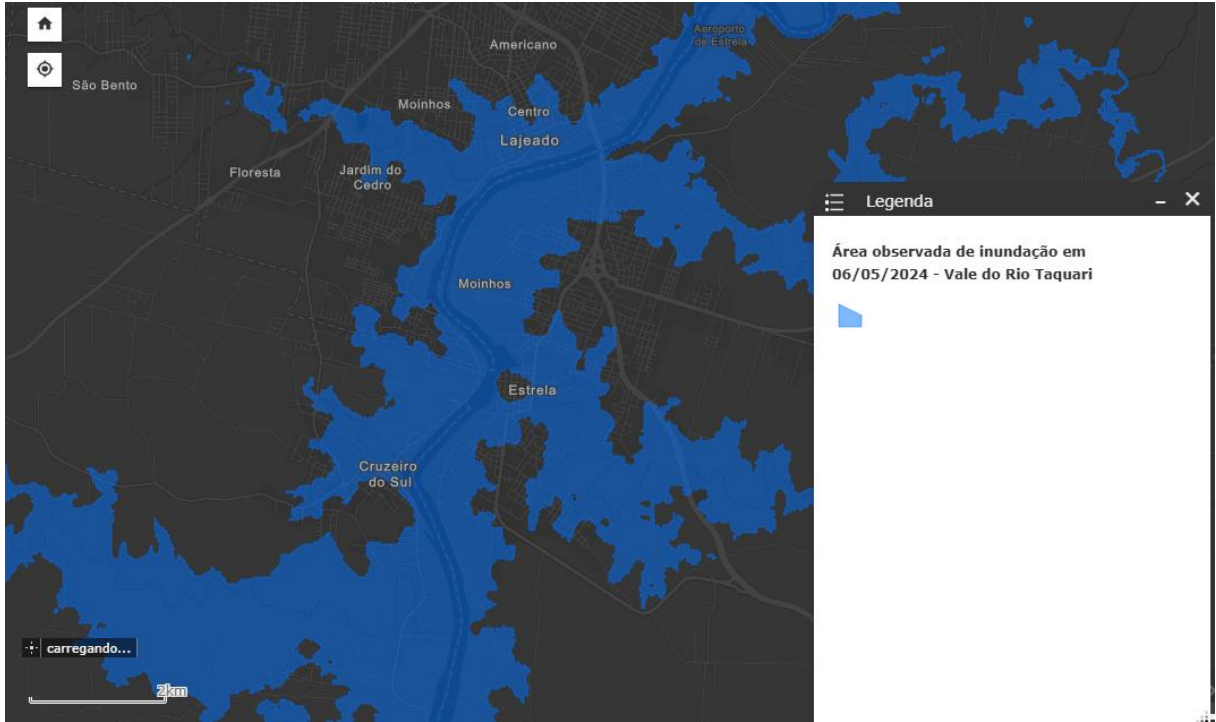


Fonte: Da autora, adaptado do Google Earth.

### 4.2.3 Mapeamento das áreas sujeitas a inundação

O modelo do Iporã Possanti, é um referencial de gestão integrada de recursos naturais, focado em aspectos sociais, econômicos e ambientais, principalmente no contexto das bacias hidrográficas e gestão de águas. A Figura 37 traz o mapa das cheias no Vale do Taquari (Possanti *et al*, 2024).

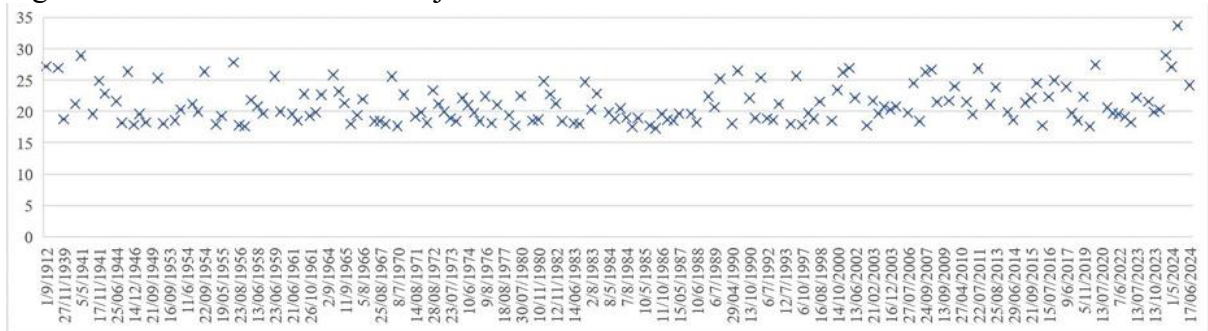
Figura 37 - Mapa das cheias no Vale do Taquari



Fonte: Da autora, adaptado do Storymaps UFRGS (2024).

A Figura 38 mostra o levantamento de dados hidrológicos históricos - séries de nível (dados Hidroweb para a região) registradas em Lajeado, obtidas com base em dados do antigo fluviométrico, do monitoramento do Porto Fluvial de Estrela e do atual posto fluviométrico (Moraes et al, 2024).

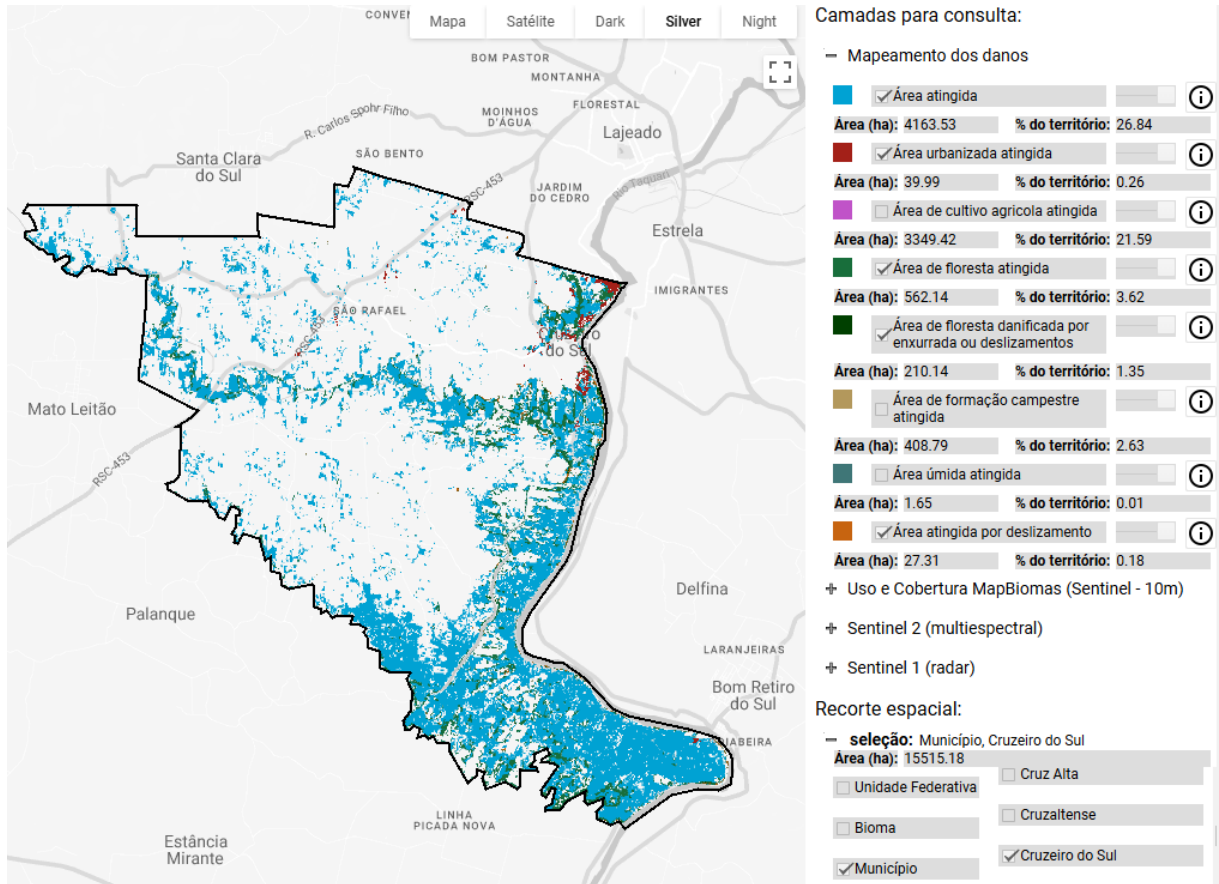
Figura 38 - Série Histórica em Lajeado



Fonte: Moraes et al (2024).

A Figura 39 desenvolvida pelo MAPBIOMAS, apresenta um conjunto de dados geoespacial relativos ao mapeamento das áreas atingidas (Fonseca; Weber et al, 2024).

Figura 39 - Mapeamento dos danos Cruzeiro do Sul



Fonte: Da autora, adaptado de MAPBIOMAS (2024).

Problemas nos sistemas de drenagem e manejo das águas pluviais podem desencadear impactos diretos sobre a vida da população nas áreas urbanas. Dados apontam que 3,4% dos domicílios de Cruzeiro do Sul estão sujeitos a risco de inundação, o que corresponde a 120 domicílios (SNIS, 2022).

#### 4.2.4 Análise de Vulnerabilidade do Sistema Atual

A análise das vulnerabilidades da infraestrutura de abastecimento de água de Cruzeiro do Sul revela múltiplos pontos de fragilidade que comprometem significativamente a resiliência do sistema frente a eventos extremos. Essas vulnerabilidades podem ser categorizadas em estruturais, operacionais e locais.

- **Vulnerabilidades Estruturais**

**Dependência de fonte única externa:** O principal ponto de vulnerabilidade identificado é a dependência absoluta do sistema de tratamento de Lajeado. Conforme descrito por Neumann (2015), o abastecimento de água do município é feito integralmente pelo município de Lajeado, onde a água tratada pela ETA de Lajeado escoia por uma tubulação adjacente à Rua Rubem Feldens até a EBAT localizada no centro. Esta configuração centralizada cria um ponto único de falha que, quando comprometido, resulta na interrupção total do abastecimento municipal. Durante os eventos de maio de 2024, conforme dados do Governo do Estado (2024), a CORSAN registrou até 1.056.877 clientes sem água, evidenciando a magnitude dos impactos.

**Fragilidade da adutora principal:** A linha de distribuição que transporta água tratada de Lajeado para Cruzeiro do Sul, localizada adjacente à Rua Rubem Feldens nas margens do Rio Taquari (Neumann, 2015), apresenta alta exposição a riscos hidro meteorológicos. Esta tubulação atravessa área de várzea sujeita a inundações recorrentes, erosão marginal e movimentos de massa, conforme evidenciado pelos danos ocorridos em maio de 2024, quando o Rio Taquari atingiu cota histórica de 33,66m em Estrela (Governo do Estado, 2024).

**Sistema de recalque vulnerável:** Segundo Neumann (2015), a água destinada ao reservatório R1 localizado na Rua Conceição precisa ser recalçada, operando com equipamentos eletromecânicos suscetíveis a falhas quando submersos ou expostos à umidade excessiva. A dependência de energia elétrica para funcionamento das bombas representa vulnerabilidade adicional, considerando que, conforme dados do Governo do Estado (2024), mais de 221.326 clientes da CEEE ficaram sem energia durante o pico das enchentes.

- **Vulnerabilidades Operacionais**

**Elevado índice de perdas:** O índice de perdas de 35,41% identificado no sistema (Instituto Água e Saneamento, 2022) indica deficiências na integridade da rede de distribuição. Segundo Heller e Pádua (2010), as perdas reais geram impactos ambientais ao demandar maior captação de recursos hídricos e podem comprometer a saúde pública devido ao risco de contaminação através de vazamentos. No contexto nacional, o SNIS (2023) aponta que o índice médio de perdas foi de 37,8%, situando Cruzeiro do Sul próximo à média brasileira, mas ainda em patamar elevado.

**Ausência de redundância:** O sistema atual não possui rotas alternativas de abastecimento ou reservação de emergência adequada. Conforme Tsutiya (2006), os reservatórios desempenham papel essencial na garantia de segurança operacional, ao manter reservas para situações emergenciais como falhas na adução, captação ou na estação de tratamento. A configuração atual descrita por Neumann (2015), onde a água esco linearmente (Lajeado → EBAT → Reservatórios), não permite bypass ou operação parcial em caso de falha.

**Limitações na capacidade de reservação:** Os reservatórios existentes (R1, R2 e R3) identificados por Neumann (2015) possuem capacidade limitada para manter o abastecimento durante interrupções prolongadas. Segundo Tsutiya (2006), alguns países utilizam uma reserva de emergência de 25% do consumo máximo diário previsto, parâmetro não observado no sistema atual.

- **Vulnerabilidades Locacionais**

**Infraestrutura em áreas de risco:** Parte da infraestrutura está localizada em áreas sujeitas a inundação, conforme mapeamento realizado com base nos dados do MAPBIOMAS (Fonseca; Weber et al, 2024). O levantamento dos poços cadastrados no SIAGAS revelou que 6 poços se encontram na mancha de inundação de 2024 (conforme Figura XX), comprometendo sua operação durante eventos extremos.

**Concentração geográfica:** A concentração da infraestrutura crítica (EBAT e reservatório principal R1) na área central, próxima ao Rio Taquari (Neumann, 2015), amplifica os riscos de paralisação simultânea de múltiplos componentes durante uma única ocorrência de inundação. Segundo dados do SNIS (2022), 3,4% dos domicílios de Cruzeiro do Sul estão sujeitos a risco de inundação, correspondendo a 120 domicílios (conforme item 4.2.3).

#### **4.2.4.1 Pontos críticos identificados**

Com base na análise de vulnerabilidades e no mapeamento de riscos utilizando dados do MAPBIOMAS (Fonseca; Weber et al, 2024) e informações da infraestrutura existente (Neumann, 2015), foram identificados cinco pontos críticos que representam os maiores riscos para a continuidade do abastecimento de água no município.

Nunes (2011) cita que, o nível de criticidade de um sistema de abastecimento de água é calculado com base em uma avaliação integrada das vulnerabilidades da infraestrutura, levando em conta probabilidade de falha, impacto associado e, muitas vezes, resiliência da resposta operacional. Esse cálculo busca priorizar intervenções e estratégias de mitigação, especialmente em situações de risco como enchentes.

### **Ponto Crítico 1: Estação de Tratamento de Água de Lajeado**

- Nível de Criticidade: MUITO ALTO
- Tipo de Risco: Dependência externa total
- Impacto: Interrupção completa do abastecimento
- Tempo de Recuperação Estimado: 3-7 dias
- Base Técnica: Conforme Neumann (2015), todo o abastecimento depende da ETA de Lajeado
- Medidas Mitigadoras: Construção de ETA própria conforme proposto na seção 4.3.2.1

### **Ponto Crítico 2: Adutora Rua Rubem Feldens**

- Nível de Criticidade: ALTO
- Tipo de Risco: Ruptura por erosão, movimento de massa ou impacto de detritos
- Impacto: Interrupção total do fornecimento externo
- Tempo de Recuperação Estimado: 1-3 dias
- Base Técnica: Tubulação localizada em área de várzea (Neumann, 2015) sujeita aos movimentos de massa identificados pela UFRGS (2024)
- Medidas Mitigadoras: Rota alternativa de adução ou proteção da tubulação existente

### **Ponto Crítico 3: EBAT Central**

- Nível de Criticidade: ALTO
- Tipo de Risco: Submersão de equipamentos e falha energética
- Impacto: Impossibilidade de distribuição mesmo com água disponível
- Tempo de Recuperação Estimado: 2-5 dias

- Base Técnica: Localização no centro urbano (Neumann, 2015) em área atingida pelas enchentes (MAPBIOMAS, 2024)
- Medidas Mitigadoras: Elevação de equipamentos, grupo gerador e bombas submersíveis

#### **Ponto Crítico 4: Rede de Distribuição em Áreas Baixas**

- Nível de Criticidade: MÉDIO
- Tipo de Risco: Contaminação por refluxo e infiltração
- Impacto: Comprometimento da qualidade da água e necessidade de desinfecção
- Tempo de Recuperação Estimado: 7-14 dias
- Base Técnica: Elevado índice de perdas (35,41%) indicando vulnerabilidades na rede (Instituto Água e Saneamento, 2022)
- Medidas Mitigadoras: Aplicação da NBR 12218 (1994) para pressões adequadas e setorização

#### **Ponto Crítico 5: Concentração de Poços em Área Inundável**

- Nível de Criticidade: MÉDIO
- Tipo de Risco: Contaminação do aquífero e falha de equipamentos
- Impacto: Perda de fontes alternativas de abastecimento
- Tempo de Recuperação Estimado: 15-30 dias
- Base Técnica: Dados do SIAGAS mostram poços na área de inundação mapeada (MAPBIOMAS, 2024)
- Medidas Mitigadoras: Novos poços em cotas elevadas conforme proposto na seção 4.3.1.1

#### **4.2.4.2 Síntese dos riscos e tempo de recuperação**

A análise revela que o sistema atual possui múltiplos pontos de falha que podem comprometer o abastecimento por períodos de 3 a 30 dias, dependendo da severidade do evento e do componente afetado. Conforme Heller e Pádua (2010), a correta identificação desses tipos

de vulnerabilidade é essencial para estabelecer estratégias de controle e melhorar os indicadores do sistema.

Classificação de Criticidade por Tempo de Recuperação:

- Crítico (>7 dias): ETA Lajeado, rede de distribuição, poços contaminados
- Alto (3-7 dias): Adutora principal, EBAT central
- Moderado (1-3 dias): Falhas pontuais na rede, equipamentos isolados

Esta análise fundamenta a necessidade de diversificação das fontes de abastecimento e implementação de redundâncias no sistema, conforme será detalhado nas alternativas propostas na seção seguinte, em consonância com as diretrizes de Tsutiya (2006) para sistemas resilientes de abastecimento de água.

### **4.3 Alternativas Propostas para Reabastecimento**

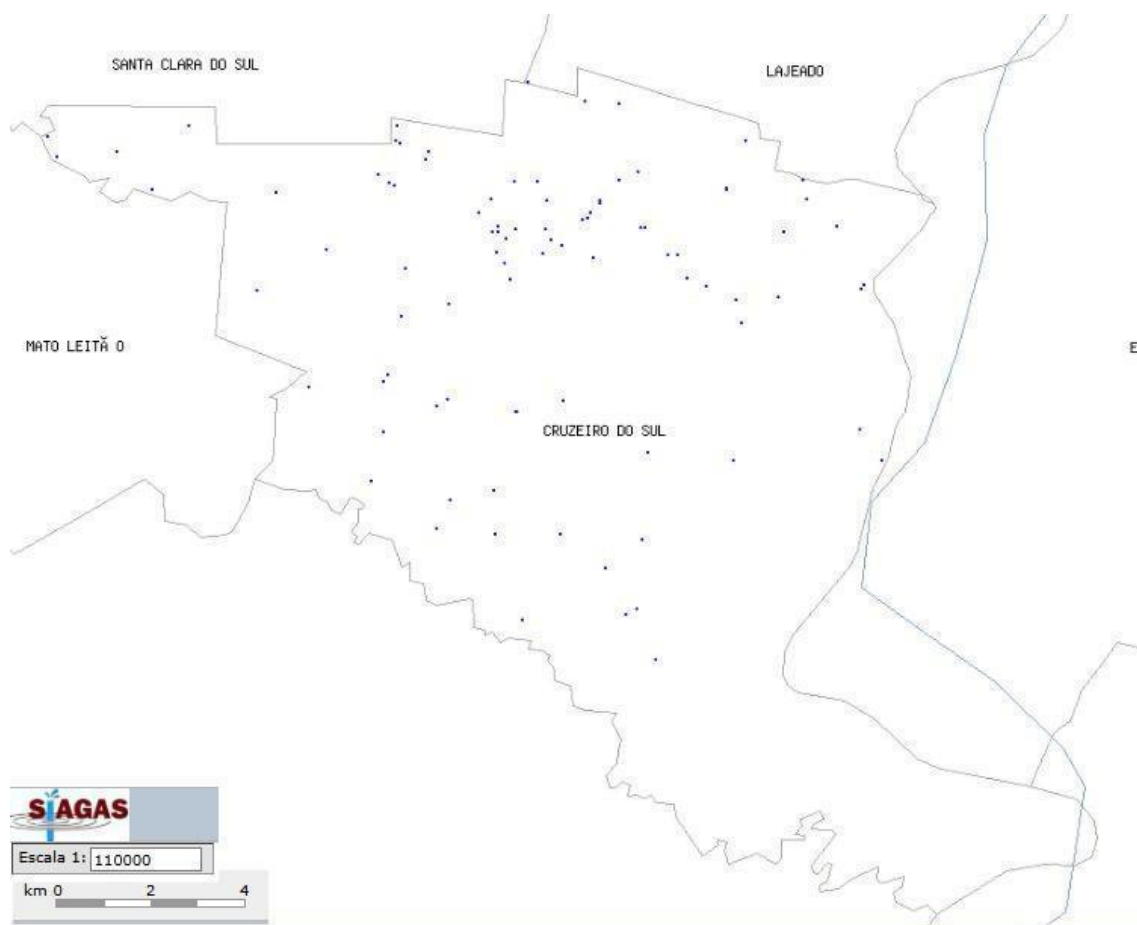
Neste capítulo, a partir dos levantamentos realizados sobre o diagnóstico dos impactos provocados pela enchente na região, dos recursos hídricos disponíveis, das estruturas existentes e do mapeamento das áreas afetadas, são apresentadas propostas de sistemas alternativos de abastecimento de água. As soluções são organizadas conforme sua aplicabilidade em curto, médio e longo prazo, considerando a viabilidade técnica e operacional de cada alternativa.

#### **4.3.1 Soluções de curto prazo**

##### **4.3.1.1 Poços**

Foi feito um levantamento da quantidade de poços disponíveis no município através do cadastro do SIAGAS, onde foi gerado um mapa com a localização dos mesmos, conforme Figura 40.

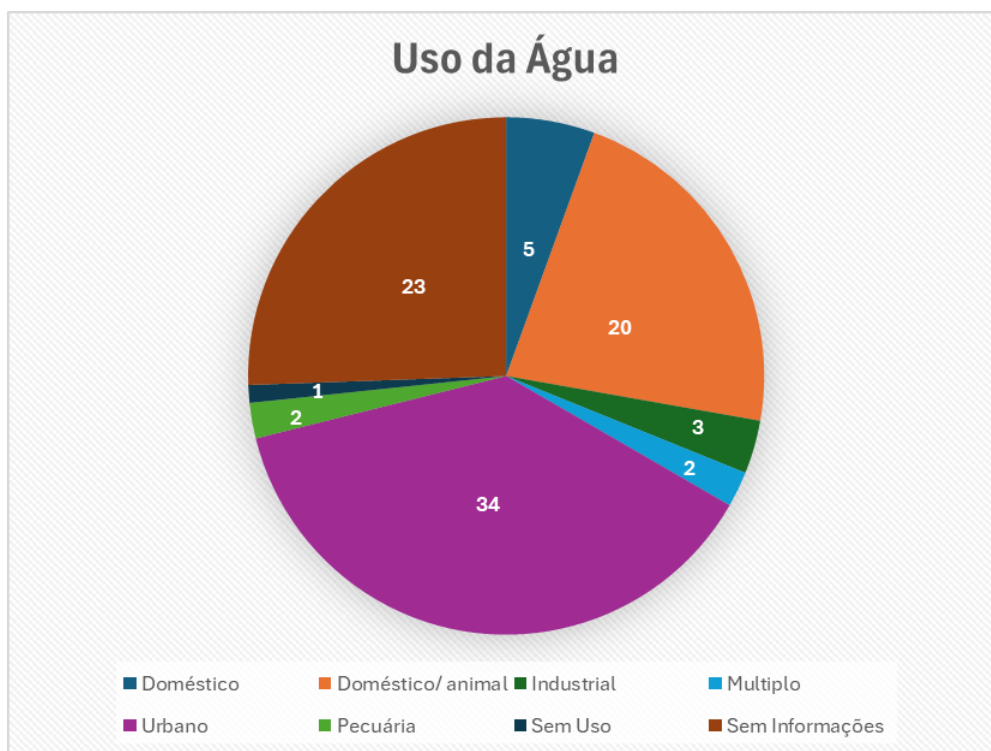
Figura 40 - Localização dos poços



Fonte: Da autora, adaptado do SIAGAS.

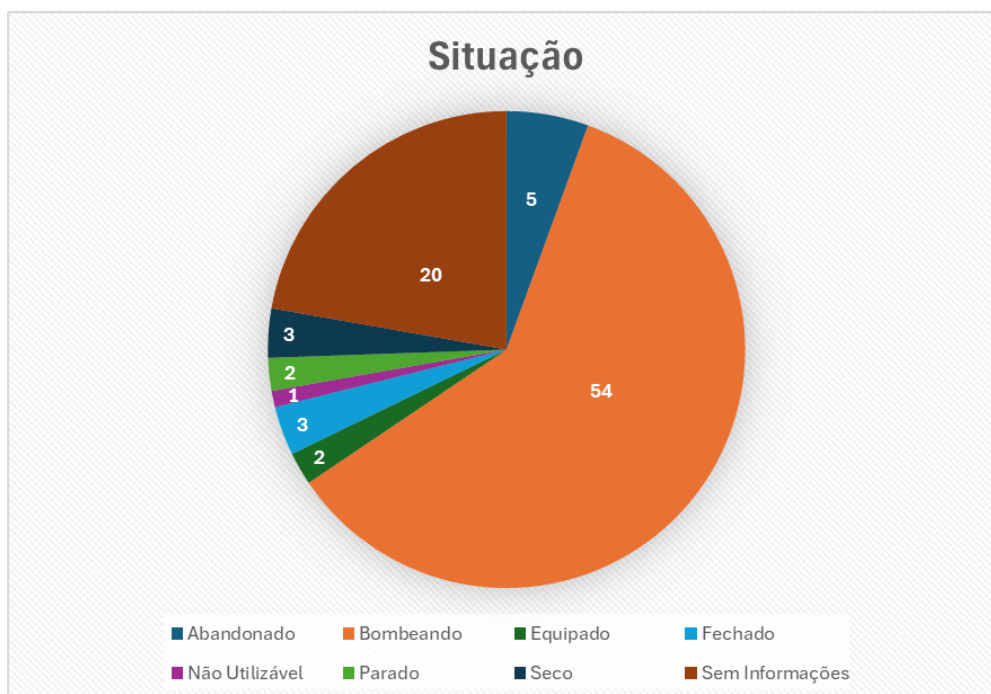
Com base no levantamento dos poços tubulares existentes no município, elaborou-se um relatório técnico conforme Apêndice A, contendo informações como localização geográfica (coordenadas UTM), situação operacional, finalidade de uso, condição do aquífero e vazão outorgada de cada poço. Para fins desta análise, foram considerados apenas os poços regularizados, em operação (com sistema de bombeamento ativo) e destinados ao abastecimento público urbano, sendo desconsideradas as captações destinadas ao uso industrial e doméstico individual. Foi gerado gráficos com a situação de operação e tipos de uso dos poços, conforme as Figuras 41 e 42.

Figura 41 - Gráfico do Uso da Água dos Poços



Fonte: Da autora, 2024.

Figura 42 - Gráfico da Situação dos Poços



Fonte: Da autora, 2024.

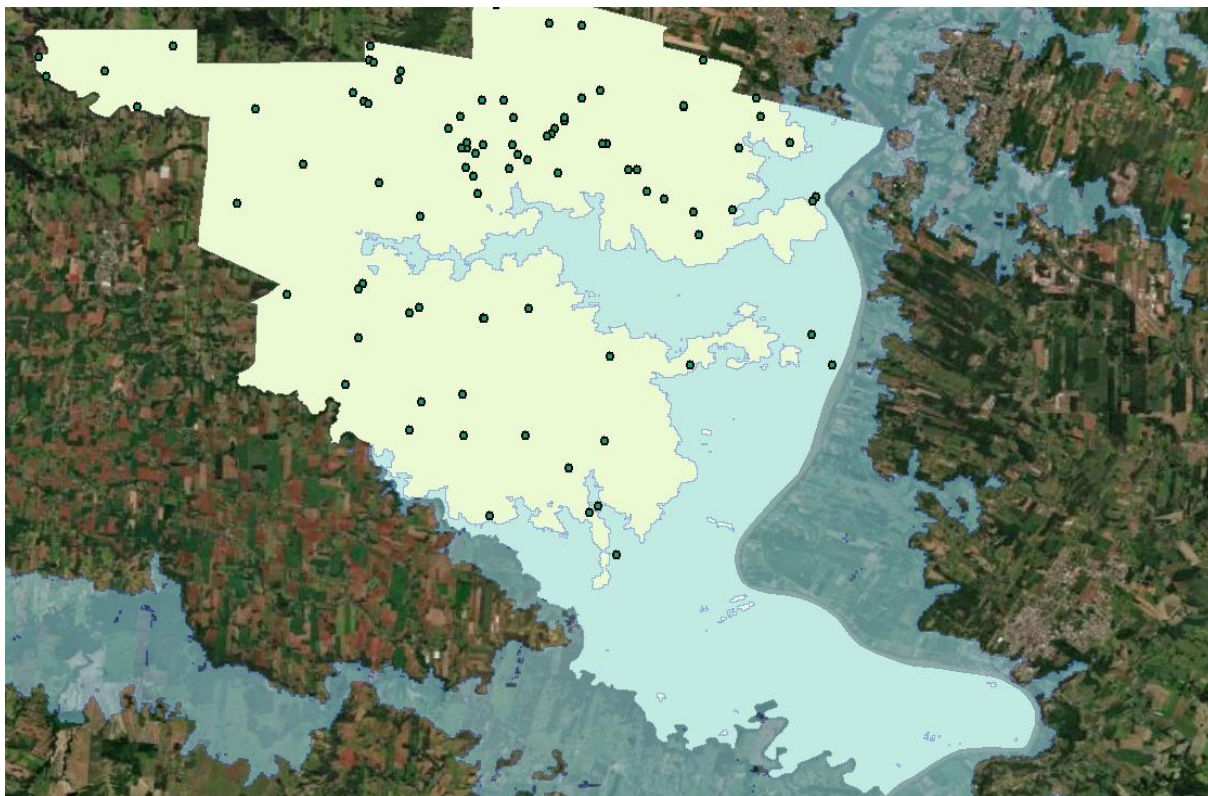
Do total de 90 poços cadastrados, a soma das vazões outorgadas corresponde a aproximadamente 15.773 m<sup>3</sup>/dia. Entretanto, ao considerar exclusivamente os poços destinados ao abastecimento urbano em condições operacionais regulares, obteve-se uma disponibilidade hídrica total de 5.045,11 m<sup>3</sup>/dia.

Ao confrontar esse valor com a demanda hídrica atual da população (1.561,32 m<sup>3</sup>/dia) e a demanda projetada para o horizonte de planejamento de 2044 (2.792,19 m<sup>3</sup>/dia), verifica-se que a vazão disponível atualmente é mais do que suficiente, sendo capaz de atender aproximadamente 1,8 vezes a demanda futura estimada.

Portanto, não se identifica, neste momento, a necessidade de ampliação da rede de captação subterrânea, considerando a suficiência do volume disponível em relação à demanda projetada.

Adicionalmente, com base nas coordenadas geográficas dos poços outorgados, foi possível realizar o georreferenciamento dessas estruturas sobre a mancha de inundação referente à enchente ocorrida em 2024 (Figura 43). Essa sobreposição permitiu identificar os poços que foram atingidos pela inundação, o que evidencia a vulnerabilidade de parte da infraestrutura de captação.

Figura 43 - Localização dos poços na área de inundação



Fonte: Da autora, 2025.

Conforme demonstrado na imagem anterior, 6 poços foram diretamente atingidos pela enchente, o que não compromete a vazão total para abastecimento de água. No entanto, alguns encontram-se em áreas muito próximas à mancha de inundação, o que pode comprometer sua segurança e viabilidade para utilização no abastecimento.

Para utilização dos poços para reabastecimento de água, a proposta consiste na implantação de reservatórios de uso coletivo associados a poços já existentes ou estrategicamente perfurados em zonas elevadas e seguras do município, de modo a garantir o abastecimento de água bruta ou tratada em casos de colapso da rede principal. Essa configuração permitiria o funcionamento autônomo de setores urbanos críticos, como escolas, unidades de saúde, abrigos temporários e centros comunitários, a partir de volumes previamente armazenados ou captados localmente.

A definição das zonas de reservação deve considerar a distribuição espacial dos poços, sua vazão média de operação, a capacidade de armazenamento necessária e a topografia local, de modo a maximizar a gravidade para distribuição passiva da água. Esse sistema permitiria uma resposta emergencial rápida, com menor dependência da logística de transporte ou de

fontes externas, ao mesmo tempo em que reduz perdas associadas a grandes adutoras e amplia a eficiência energética do abastecimento.

Além de contribuir com o reabastecimento durante períodos críticos, a criação de uma rede de reservação descentralizada baseada em poços pode atuar de forma complementar ao sistema convencional, funcionando como backup operacional ou como parte da estratégia de contingência municipal para eventos extremos.

Caso haja necessidade de ampliação futura do sistema, recomenda-se que os novos poços sejam implantados em áreas fora da zona inundável, a fim de mitigar riscos de contaminação da água subterrânea, danos físicos à estrutura dos poços e interrupções no abastecimento.

#### **4.3.1.1 Cisternas**

A cisterna é dimensionada através da área do telhado, que nesse estudo será exemplificado por uma residência e um ginásio no município, conforme Figura 44 com a localização dos mesmos.

Figura 44 - Localização da residência e ginásio



Fonte: Da autora, adaptado do Google Earth.

Na Tabela 5 encontra-se os valores encontrados para o cálculo do volume de captação e consumo mensal da residência e do ginásio:

Tabela 5 - Cálculo de volume e consumo mensal

Cálculo	RESIDÊNCIA	GINÁSIO
Consumo interno	4,08 m <sup>3</sup> /mês	21,76 m <sup>3</sup> /mês
Consumo externo	6,9 m <sup>3</sup> /mês	11,2 m <sup>3</sup> /mês
Volume de captação	17,92 m <sup>3</sup> /mês	206,7 m <sup>3</sup> /mês
Consumo mensal	14,90 m <sup>3</sup> /mês	99,36 m <sup>3</sup> /mês

Fonte: Da autora.

Com a substituição de 6,9 m<sup>3</sup>/mês de água potável por água da chuva para fins não potáveis, a residência apresenta uma economia estimada de 46,3 % no consumo de água potável, ou seja, o consumo de água potável seria reduzido para aproximadamente 8 m<sup>3</sup>/mês,

representando significativa economia e redução da pressão sobre o sistema público de abastecimento.

Considerando a demanda mensal de 6,9 m<sup>3</sup> e a média de captação de 17,92 m<sup>3</sup>/mês, sugere-se um reservatório com capacidade útil de 10 m<sup>3</sup> (1,5x a demanda mensal), garantindo folga de segurança e autonomia para meses com menor índice pluviométrico. Vale destacar que os volumes de precipitação variam ao longo do ano, porém a média utilizada já considera oscilações sazonais.

O volume captado de água pluvial é mais que suficiente para suprir as demandas não potáveis do ginásio, resultando em uma economia de aproximadamente 33% no consumo mensal de água potável.

Com base na demanda de água não potável estimada em 32,96 m<sup>3</sup>/mês, e considerando a variabilidade sazonal da precipitação, recomenda-se a adoção de um reservatório com capacidade de 50 m<sup>3</sup> que é 1,5 vezes a demanda mensal para cobrir meses secos. Essa medida visa garantir a regularidade no abastecimento das bacias sanitárias e da limpeza do ginásio, mesmo em períodos de menor volume pluviométrico.

Para o presente dimensionamento, adotou-se um valor hipotético referente ao número de usuários semanais do ginásio, tendo em vista a ausência de dados precisos sobre a frequência real de utilização. Ressalta-se que os parâmetros empregados visam exclusivamente ilustrar a metodologia de cálculo, sendo plenamente passíveis de substituição por dados reais, caso disponíveis, a fim de tornar o dimensionamento mais preciso e representativo da demanda efetiva.

A aplicação de sistemas de captação pluvial em residências pode suprir usos não potáveis, como descargas sanitárias, irrigação de jardins, limpeza de áreas externas e lavagem de roupas, reduzindo a dependência da rede pública. Da mesma forma, a implantação de cisternas comunitárias ou reservatórios públicos de emergência em escolas, unidades básicas de saúde, ginásios e praças públicas amplia a resiliência hídrica do município ao garantir volumes armazenados para uso sanitário, limpeza urbana.

No contexto de Cruzeiro do Sul (RS), onde eventos de enchente resultaram na paralisação completa do abastecimento convencional, a adoção de sistemas descentralizados de

captação pluvial se apresenta como uma solução viável, de rápida implementação e baixo custo operacional. Edificações públicas com grandes áreas de telhado, como escolas e centros administrativos, podem ser utilizadas como pontos de coleta e armazenamento, integrando uma rede de abastecimento emergencial voltada a usos não potáveis.

Além disso, a incorporação dessas estruturas ao plano municipal de contingência hídrica permitiria a utilização da água da chuva como recurso estratégico em períodos críticos, contribuindo para reduzir o impacto social e econômico das interrupções no fornecimento. Tal proposta está alinhada a experiências bem-sucedidas como a da Cidade do Samba, no Rio de Janeiro, que utiliza sistemas de captação pluvial em larga escala para fins operacionais, e com políticas públicas como a Lei nº 13.276/2002, de São Paulo, que recomenda a implementação de sistemas de captação em novas edificações públicas.

Assim, o uso da água da chuva não apenas contribui para a sustentabilidade urbana e a economia de recursos, como também se consolida como uma solução adaptativa fundamental para garantir o abastecimento mínimo em contextos de vulnerabilidade hídrica, reforçando a capacidade de resposta do município frente a eventos extremos.

Como sugestão de locais públicos para implantação no município:

<b>Local</b>	<b>Justificativa técnica para captação pluvial</b>
Escola Municipal São Gabriel	Ampla área de telhado; uso diário e potencial educativo
Ginásio Municipal Orlando Eckert	Alta demanda de limpeza; área de cobertura ampla
UBS Central	Reforço para higiene sanitária em emergências
CRAS ou Centros Comunitários	Atendimento à população vulnerável durante desastres

<b>Local</b>	<b>Justificativa técnica para captação pluvial</b>
Estação Rodoviária / Postos da Brigada	Grande circulação e necessidade de lavagem contínua

### 4.3.2 Soluções de médio prazo

#### 4.3.2.1 Estação de tratamento de água (ETA)

Para dimensionamento da ETA, na Tabela 06 está demonstrada a projeção populacional do município obtida pelo método geométrico.

Tabela 6 - População de Cruzeiro do Sul

<b>Ano</b>	2000*	2010*	2020*	2024**	2044
<b>População (hab.)</b>	11.664	12.320	11.600	12.571	18.790

\*Dados censitários

\*\*População estimada IBGE

Fonte: Da autora, 2025.

Para o cálculo do consumo per capita foi considerado que 100% da população tem acesso ao serviço público de abastecimento de água, então foi mantido esse coeficiente de atendimento para a projeção da população, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Consumo per capita

<b>Cruzeiro do Sul</b>	<b>2024</b>	<b>2044</b>
População Total (hab.)	12.571	18.790
Coeficiente de atendimento (%)	100	100
População atendida (hab.)	12571	18790
Consumo <i>per capita</i> por habitante (L/hab.dia)	124,2	148,6

Fonte: Da autora, 2025.

Para a projeção do consumo *per capita* futuro, foi considerado o valor de referência de 121,8 L/hab.dia (SNIS, 2022), aplicando-se uma taxa de incremento anual de 1% resultando em um consumo estimado de 148,6 L/hab.dia para ano de 2044, um crescimento acumulado de 22% ao longo dos 20 anos.

Com base na projeção populacional de 18790 habitantes atendidos e no consumo per capita estimado de 148,6 L/hab.dia para o ano de 2044, a demanda total de água projetada para o município de Cruzeiro do Sul (RS) será de aproximadamente 2.792,19 m<sup>3</sup>/dia ou 1.019.150,8 m<sup>3</sup>/ano, comparando-se os valores com o ano de 2024 onde a população é de 12.571 habitantes e o consumo per capita é de 124,2 L/hab.dia, a demanda total de água é de 1.561,32 m<sup>3</sup>/dia ou 569.881,14 m<sup>3</sup>/ano, verificou-se que a demanda total de água em 2044 será de aproximadamente 78,8% superior à verificada em 2024, tanto em consumo diário quanto em anual, refletindo o crescimento populacional e o incremento no consumo *per capita* estimado.

Com a definição da população e do consumo *per capita*, foi possível realizar a estimativa das vazões correspondentes para cada segmento do sistema, levando em conta que, neste estudo, a vazão projetada refere-se até o ponto do reservatório, conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Vazões

k1	1,2
k2	1,5
% CETA	1,03
qpc (2024)	124,2 (L/hab.dia)
qpc (2044)	148,6 (L/hab.dia)
Qesp (2024)	25 L/s
Qesp (2044)	35 L/s
Q1	vazão da captação até a ETA (L/s)

Q2		vazão da ETA até o reservatório (L/s)	
Ano	População	Q1	Q2
2024	12.571	47,3	46,7
2044	18.790	74,9	73,8

Fonte: Da autora, 2025.

Na Tabela 9 consta a vazão máxima e foi determinada a vazão média transformando L/s para m<sup>3</sup>/s para o ano de 2044.

Tabela 9 - Vazão máxima e média

Ano	População	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)
2044	18.790	0,0388	0,0323

Fonte: Da autora, 2025.

Os resultados das aplicações das equações da metodologia nas etapas da ETA estão demonstrados a seguir.

Tabela 10 - Coagulação

<b>Coagulação - Informações Disponíveis</b>	
Viscosidade ( $\mu$ )	0,001071 N.s/m <sup>2</sup>
Densidade ( $\rho$ )	998,68 Kg/m <sup>3</sup>
Garganta da Calha (W) - 4'	1220 mm 1,22 m
k	0,505
n	0,634
Vazão (Q)	74,9 L/s 0,074 m <sup>3</sup> /s
D (medida padrão)	1938 mm 1,938 m
N (medida padrão)	229 mm 0,229 m
<b>Resultado das Equações</b>	
Altura lâmina d'água (H0)	0,10 m
Largura calha (D0)	1,70 m
Velocidade d'água (U0)	0,45 m/s

Vazão espec. na garganta da calha (q)	0,06 m/m.s
Energia hidráulica na seção 0 (E0)	0,34 m
Ângulo de inclinação do ressalto	100,51 °
Velocidade d'água (U1)	2,47 m/s
Altura lâmina d'água (H1)	0,03 m
Número Froude (F1)	5,00
Altura lâmina d'água (H2)	0,16 m
Velocidade d'água (U2)	0,30 m/s
Altura lâmina d'água (H3)	0,01 m
Velocidade d'água (U3)	4,83 m/s
Extensão do ressalto (L)	0,73 m
Perda de carga entre seção 1 e 2 (h)	0,17 m
Tempo de mistura coagulante na água (t)	1,40 s
Gradiente de velocidade (G)	1041,84 s <sup>-1</sup>
Número de camp	551,78

Fonte: Da autora, 2025.

Tabela 11 - Flocculação

<b>Floculação - Informações Disponíveis</b>			
Viscosidade ( $\mu$ )	0,001071	N.s/m <sup>2</sup>	
Densidade ( $\rho$ )	998,68	Kg/m <sup>3</sup>	
Vazão (Q)	0,074	m <sup>3</sup> /s	
Comprimento (L)	10	m	
Profundidade (H)	0,80	m	
Tempo (T)	1200	s	
Volume total	88,80	m <sup>3</sup>	
Largura total	11,10	m	
Largura de cada seção	3,70	m	
Número de seções	3		
Coefficiente de Darcy	0,025		
<b>Resultado das Equações</b>			
Cálculo do número de canais entre chicanas			
Área total normal ao fluxo (A)	8	m <sup>2</sup>	
Tempo de flocculação em cada seção (T)	400	s	
Seções	G (s <sup>-1</sup> )	m (n° de canais entre chicanas)	Espaçamento entre chicanas (e=L/m)
Seção 1	40	22	0,45 m
Seção 2	30	18	0,55 m
Seção 3	20	14	0,72 m

Fonte: Da autora, 2025.

A área da ETA foi determinada a partir da área do decantador. Considerando que a ETA funcionará 24h por dia, e adotando a velocidade de sedimentação de  $25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ , conforme a NBR 12216 serão necessárias duas unidades iguais de decantação.

$$A(\text{m}^2) = \frac{0,0388(\text{m}^3/\text{s}) \times 86400}{25(\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia})}$$

A área obtida do decantador foi de  $134 \text{ m}^2$ , então cada unidade terá uma área de decantação de  $67 \text{ m}^2$ . Considerando que a ETA ocupa 50% da área total, ela terá uma área construída de aproximadamente  $268 \text{ m}^2$ , prevendo futura ampliação vamos considerar a área total de ETA de  $350 \text{ m}^2$ .

Tabela 12 - Filtração

<b>Filtração - Informações Disponíveis</b>	
Vazão (Q)	74,9 L/s 6471,36 $\text{m}^3/\text{d}$
Largura (b)	3 m
Comprimento (L)	6 m
n° filtros	3
Diâmetro efetivo da areia (d10)	0,40 mm
Expansão do leito	25 %
Tempo de lavagem (t)	15,00 min
Velocidade ascensional	0,50 m/min
<b>Resultado das Equações</b>	
Área total da filtração (At)	18 $\text{m}^2$
Área de cada filtro (Af)	6 $\text{m}^2$
Taxa de filtração (q)	359,52 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$
Vazão de lavagem (Ql)	3 $\text{m}^3/\text{min}$
Volume de reservação (Vr)	45 $\text{m}^2$

Fonte: Da autora, 2025.

Tabela 13 - Desinfecção

<b>Desinfecção - Informações Disponíveis</b>	
Vazão (Q)	268,56 $\text{m}^3/\text{h}$ 6471,36 $\text{m}^3/\text{d}$
Dosagem aplicada de cloro	1,2 $\text{g}/\text{m}^3$
Tempo de contato	20 min 0,33 h
<b>Resultado das Equações</b>	
Volume tanque	88,6 $\text{m}^3/\text{h}$
Massa cloro consumida dia	7,77 $\text{kg}/\text{d}$

Massa cloro consumida mês 240,73 kg

Fonte: Da autora, 2025.

Tabela 14 - Fluoretação

<b>Fluoretação - Informações Disponíveis</b>	
	74 L/s
Vazão (Q)	4,49 m <sup>3</sup> /min
	6471,36 m <sup>3</sup> /d
Fator de proporcionalidade	1,263
Teor de íon fluoreto desejado	0,8 g/m <sup>3</sup>
Concentração do ácido (22%)	262,7 g/L
Densidade do ácido	1,19 g/cm <sup>3</sup>
<b>Resultado das Equações</b>	
Vazão ácido a ser aplicado	0,017 L/min
	1,04 L/h
Consumo diário	6538,66 g/d
	6,54 kg/d

Fonte: Da autora, 2025.

Utilizando o Google Earth, foi analisada a topografia da área urbana do município de Cruzeiro do Sul para implantação da estação de tratamento de água, conforme Figura 45.

Figura 45 - Relevo da área urbana



Fonte: Da autora, adaptado do Google Earth.

O relevo principal da área central é acidentado e nessa região está a maior concentração de residências e comércios. Por esse motivo, o sistema de abastecimento de água contemplará a estação elevatória de recalque, que irá destinar, através de uso de bombas, as águas tratadas na ETA até os reservatórios.

A Figura 46 mostra o local escolhido que fica a 1.480 m do manancial (Rio Taquari) fora da mancha de inundação da enchente de maio de 2024.

Figura 46 - Local da ETA



Fonte: Da autora, adaptado do Google Earth.

Neste sistema, a água bruta é captada no manancial (Rio Taquari), localizado a uma cota aproximada de 13 metros, e bombeada até a Estação de Tratamento de Água (ETA), situada a cerca de 60 metros de altitude, em razão do desnível topográfico entre o rio e a unidade de tratamento. Na ETA, a água passa pelas etapas convencionais de tratamento: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. Após o tratamento, a água é direcionada a uma nova Estação de Bombeamento de Água Tratada (EBAT), visto que a EBAT atualmente operada pela Corsan está localizada em área de risco de inundação, o que inviabiliza seu funcionamento em períodos de cheia.

A nova EBAT será responsável por bombear a água tratada até os reservatórios existentes, podendo ainda, ser interligada ao sistema da EBAT atual da Corsan. Essa integração permitirá a operação em regime conjunto, com o objetivo de ampliar a segurança operacional do sistema e viabilizar a instalação de novos reservatórios para reforçar a capacidade de abastecimento em situações emergenciais.

O sistema de bombas de captação da água deverá ficar protegido evitando assim que entre em contato com a água impedindo o correto funcionamento. Foi considerado para esse trabalho que o sistema utilizará a estrutura existente de estação elevatória de água tratada e os reservatórios de propriedade da Corsan.

Para evitar o desabastecimento caso ocorra algum problema com a ETA, será ampliado os reservatórios para manter uma reserva de emergência. Tsutiya (2006) cita que não há nenhuma fórmula para se determinar o volume de emergência, alguns países utilizam uma reserva de 25% do consumo máximo diário previsto. Para tal vamos considerar 25% do valor total da demanda de água diária da população atual que é de 1.561,77 m<sup>3</sup>/dia, chegando no valor de 390 m<sup>3</sup>/dia, considerando uma projeção para 3 dias sem abastecimento será necessário um reservatório de emergência de 1170 m<sup>3</sup> que deverá estar interligado com os demais reservatórios da Corsan já existentes.

### **4.3.3 Soluções de longo prazo**

#### **4.3.3.1 Água de reuso de efluentes e Pagamento por serviços ambientais (PSA)**

Diante da elevada vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água em Cruzeiro do Sul, evidenciada pelas enchentes de 2023 e 2024, que resultaram em longos períodos de desabastecimento, torna-se essencial a adoção de soluções descentralizadas, sustentáveis e adaptadas ao contexto local. Nesse sentido, a implementação de wetlands construídas aliada a mecanismos de pagamento por serviços ambientais (PSA) se apresenta como uma alternativa eficaz para ampliar a segurança hídrica e garantir o reabastecimento, especialmente em situações emergenciais.

As wetlands construídas consistem em sistemas artificiais que reproduzem as funções naturais de zonas úmidas, promovendo a depuração de águas residuais ou pluviais por meio de

processos físicos, químicos e biológicos. Durante eventos de enchente, essas estruturas podem atuar como áreas de contenção e filtração de águas contaminadas, reduzindo significativamente a carga de sedimentos, nutrientes, coliformes e outros poluentes. Quando projetadas de forma estratégica, podem ainda favorecer a infiltração e recarga dos aquíferos, criando uma fonte alternativa para captação de água em usos não potáveis, como irrigação, lavagem de vias e sistemas sanitários.

Já o pagamento por serviços ambientais (PSA) constitui um instrumento econômico e institucional que estimula a conservação de ecossistemas essenciais ao ciclo hidrológico, como matas ciliares, nascentes e áreas de recarga. Ao reconhecer e remunerar produtores rurais por práticas sustentáveis, o PSA contribui diretamente para a manutenção da qualidade e da disponibilidade da água, além de reduzir processos erosivos e o assoreamento dos corpos hídricos, fatores que agravam os impactos das enchentes.

A adoção conjunta desses mecanismos proporciona diversos benefícios ao município como descentralização do sistema de abastecimento, com criação de fontes complementares de água tratada; redução da dependência de sistemas vulneráveis a inundações, como a Estação de Tratamento de Lajeado; aumento da capacidade de armazenamento e regulação das águas de enxurrada; melhoria da qualidade da água superficial e subterrânea, favorecendo o reuso; estímulo à conservação ambiental e à valorização dos serviços ecossistêmicos locais, através do engajamento da população rural; baixo custo operacional e elevada adaptabilidade, o que torna essas soluções viáveis para municípios de pequeno porte como Cruzeiro do Sul.

### **Propostas de implementação de Wetlands construídos e PSA:**

#### **1. Diagnóstico e Identificação de Áreas Prioritárias**

Antes da implantação, é essencial realizar um mapeamento das áreas críticas do município:

- Locais frequentemente alagados, como margens do Arroio Sampaio e zonas ribeirinhas do Rio Taquari;
- Fontes de poluição difusa (escoamento agrícola, fossas sépticas, águas pluviais contaminadas);

- Nascente degradadas ou com baixa proteção vegetal, especialmente em zonas rurais;
- Áreas de recarga hídrica, identificadas por meio de estudos de solo e topografia.

## **2. Implantação de Wetlands Construídas**

A criação de wetlands deve considerar o uso de terrenos públicos ou privados com parceria comunitária, como:

- Espaços marginais a cursos d'água que podem ser convertidos em sistemas de tratamento natural;
- Pequenas bacias de contenção em loteamentos novos ou áreas de expansão urbana;
- Áreas próximas a escolas, praças ou centros comunitários, com função educativa e ambiental.

### Etapas práticas:

- Projeto técnico com base em normas e diretrizes da ANA e CONAMA;
- Escolha do tipo de wetland: fluxo superficial (ideal para áreas abertas) ou subsuperficial (mais compacto e menos odor);
- Integração ao sistema pluvial urbano, tratando o excesso hídrico das chuvas;
- Reaproveitamento da água tratada para fins não potáveis (limpeza de ruas, irrigação de hortas comunitárias, etc.).

## **3. Implantação do Programa Municipal de PSA**

O município pode instituir um programa de PSA com base legal por meio de:

- Lei municipal específica de incentivo à conservação de recursos hídricos;
- Parcerias com o Comitê de Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, EMATER, Consórcios Intermunicipais, Secretaria de Meio Ambiente e ONGs.

### Etapas práticas:

- Cadastro de produtores rurais interessados em participar (foco em microbacias e nascentes do interior do município);
- Critérios de seleção: manutenção de mata ciliar, ausência de agrotóxicos nas margens, proteção de nascentes com cercamento;
- Pagamento anual ou incentivos fiscais (redução de IPTU, isenção de taxas ambientais, fornecimento de mudas, assistência técnica);
- Monitoramento por satélite, vistorias e indicadores de melhoria da qualidade da água.

#### **4. Ações Complementares**

- Educação ambiental em escolas, envolvendo a comunidade no monitoramento e cuidado das wetlands e áreas protegidas;
- Campanhas de conscientização sobre o uso racional da água, valorizando os serviços ambientais e o papel do produtor rural na segurança hídrica;
- Capacitação técnica dos servidores municipais e agricultores para manutenção das estruturas e controle da vegetação das wetlands.

#### **Exemplo prático de aplicação em Cruzeiro do Sul:**

<b>Local</b>	<b>Ação proposta</b>	<b>Benefício</b>
Comunidade de Linha Sítio	Implantação de wetland próximo a nascente e valas pluviais	Redução da carga de sedimentos e reuso para irrigação
Perímetro urbano - área da Rua General Neto	Wetland para águas pluviais urbanas	Controle de enchentes e reaproveitamento da água

<b>Local</b>	<b>Ação proposta</b>	<b>Benefício</b>
Propriedades rurais nas margens do Arroio Sampaio	PSA para conservação de mata ciliar	Proteção da qualidade da água e estabilidade do solo

Assim, a incorporação de wetlands construídas e PSA ao planejamento hídrico do município representa uma medida estruturante que alia segurança hídrica, sustentabilidade ambiental e desenvolvimento social, sendo especialmente relevante no contexto de recorrência de eventos climáticos extremos.

#### **4.3.4 Análise técnico-econômica das alternativas**

Para esta análise, foram considerados cinco critérios fundamentais baseados nas diretrizes de Tsutiya (2006) e nas características específicas de sistemas de emergência: (1) custo de implantação, (2) custo operacional e manutenção, (3) tempo de implementação, (4) confiabilidade em emergências e (5) capacidade de atendimento. Cada alternativa foi avaliada considerando o horizonte de projeto de 20 anos estabelecido para a população de 18.790 habitantes em 2044.

##### **Análise Individual das Alternativas**

- Estação de Tratamento de Água Própria

A construção de uma ETA própria representa a solução de maior custo de implantação, mas também a de maior autonomia operacional. Com base no dimensionamento realizado para vazão de 74,9 L/s, estima-se um investimento inicial da ordem de R\$ 8 a 12 milhões, considerando valores típicos de R\$ 800 a 1.200 por habitante atendido para sistemas desta capacidade (Heller e Pádua, 2010).

O tempo de implementação previsto é de 24 a 36 meses, considerando projetos executivos, licitações e construção. A principal vantagem desta alternativa reside na autonomia completa frente a falhas externas, eliminando a dependência crítica identificada no Ponto

Crítico 1. Conforme Tsutiya (2006), sistemas próprios de tratamento conferem maior segurança operacional e controle de qualidade, aspectos fundamentais em cenários de emergência.

- Aproveitamento de Poços Artesianos Existentes

A utilização dos poços cadastrados no SIAGAS apresenta excelente relação custo-benefício para implementação em curto prazo. Com vazão total disponível de 5.045,11 m<sup>3</sup>/dia dos poços destinados ao abastecimento urbano, o sistema possui capacidade 1,8 vezes superior à demanda projetada para 2044, configurando folga operacional significativa.

O tempo de implementação é vantajoso, entre 6 a 12 meses, permitindo resposta rápida a emergências.

- Sistemas de Captação Pluvial (Cisternas)

As cisternas representam a alternativa de menor custo individual e maior facilidade de implementação descentralizada. Com base no dimensionamento realizado para uma residência padrão (reservatório de 10 m<sup>3</sup>), o investimento unitário varia entre R\$8.000 a 15.000, incluindo sistema de captação, filtros e reservatório, conforme Tomaz (2010).

Para atendimento significativo da população, considerando 3.000 residências, o investimento total seria de R\$ 24 a 45 milhões. Os custos operacionais são mínimos, limitando-se à manutenção dos sistemas de filtração e limpeza dos reservatórios. O tempo de implementação em larga escala é favorável, entre 12 a 18 meses para programa municipal.

A principal limitação reside na dependência pluviométrica e na aplicação restrita a usos não potáveis, reduzindo sua eficácia como solução principal em emergências prolongadas. Entretanto, conforme demonstrado nos cálculos, a economia de 46,3% no consumo de água potável residencial representa benefício significativo para redução da pressão sobre o sistema principal.

- Sistemas de Reuso de Efluentes (Wetlands Construídos)

A implementação de wetlands construídos para tratamento e reuso representa alternativa sustentável de médio a longo prazo. Segundo Sezerino e Pelissari (2021), são necessários de 1

a 2 m<sup>2</sup> para cada 160 L/dia de vazão, resultando em área de 1.400 a 2.800 m<sup>2</sup> para atendimento de 1.000 habitantes.

Conforme Perondi et al. (2020), em uma ETE experimental localizada no sul do Brasil, o custo de implantação foi de R\$ 2.566,12 por habitante em 2019. Os autores destacam que este valor pode ser sensivelmente reduzido em terrenos com desnível favorável e lençol freático adequado, onde o módulo do wetland pode ser escavado no solo, possibilitando o uso de mutirão para reduzir custos.

Os custos operacionais são reconhecidamente reduzidos. Segundo Kadlec e Wallace (2009), o wetland construído se destaca por seu reduzido custo de manutenção e operação em comparação aos demais sistemas de tratamento de águas residuárias de semelhante eficiência. O consumo energético é inferior a 0,1 kWh/m<sup>3</sup> de efluente para wetlands de fluxo subsuperficial (BRIX, 1999), valor mínimo comparado a outras formas de tratamento mecanizado convencionais.

O tempo de implementação varia entre 12 a 24 meses, considerando projetos e construção. A principal barreira reside na disponibilidade de área e na aceitação social para usos de reuso, limitando sua aplicação imediata em emergências. Contudo, estes sistemas são descentralizados com simplicidade operacional e satisfatórios índices de remoção de poluentes, sendo especialmente adequados para municípios de pequeno porte.

- Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)

O modelo de PSA, exemplificado pelo programa desenvolvido pela CORSAN (2024) em Venâncio Aires, representa estratégia preventiva para proteção de mananciais. Esta alternativa, embora não configure solução emergencial direta, contribui significativamente para redução de riscos futuros e melhoria da qualidade da água bruta, aspectos que reduzem custos de tratamento a longo prazo, conforme demonstrado no modelo de Nova York (Globo Rural, 2008).

### **Análise Comparativa e Custo-Benefício**

A análise integrada revela que não existe solução única ótima, mas sim combinações estratégicas que maximizam a relação custo-benefício considerando diferentes horizontes temporais. Para situações de emergência imediata (0-6 meses), o aproveitamento de poços

artesianos apresenta a melhor relação custo-benefício, oferecendo implementação rápida com investimento moderado e confiabilidade elevada.

Para resiliência de médio prazo (1-3 anos), a combinação de poços + cisternas otimizam recursos, reduzindo a pressão sobre fontes principais enquanto promove autonomia descentralizada. A ETA própria justifica-se economicamente apenas no longo prazo (>10 anos), quando os custos acumulados de dependência externa e vulnerabilidades superam o investimento inicial.

Os wetlands construídos, embora apresentem custos de implantação significativos, mantêm vantagem competitiva pelos reduzidos custos operacionais e simplicidade de manutenção, sendo especialmente adequados para aplicações descentralizadas em complemento ao sistema principal.

### **Recomendação Técnico-Econômica**

Com base na análise realizada, recomenda-se implementação faseada e integrada das alternativas, priorizando soluções de menor custo e maior rapidez inicial, evoluindo gradualmente para maior autonomia:

Fase 1 (Curto Prazo - 6 a 12 meses): Aproveitamento imediato de poços artesianos fora da área inundável, atendendo 30% da demanda municipal como sistema de backup.

Fase 2 (Médio Prazo - 1 a 3 anos): Implementação de programa municipal de cisternas residenciais para usos não potáveis, reduzindo a pressão sobre o sistema principal.

Fase 3 (Longo Prazo - 3 a 5 anos): Avaliação da viabilidade de ETA própria ou wetlands construídos com base no desempenho das fases anteriores e evolução demográfica, mantendo flexibilidade para expansão ou consolidação do sistema misto.

Esta estratégia escalonada otimiza recursos financeiros, reduz riscos de implementação e permite ajustes baseados em resultados práticos, aspectos fundamentais para sustentabilidade de projetos de infraestrutura em municípios de médio porte, conforme diretrizes de Heller e Pádua (2010).

#### 4.5 Discussão Integrada e Recomendações

A análise dos resultados evidencia a necessidade urgente de diversificação das fontes de abastecimento de água em contextos de desastres climáticos, como enchentes e períodos de escassez hídrica. As recentes cheias ocorridas no município de Cruzeiro do Sul – RS, especialmente a de maio de 2024, demonstraram a vulnerabilidade do sistema atual, que depende integralmente do abastecimento proveniente de Lajeado. O rompimento da adutora e a paralisação das bombas submersas comprometeram o fornecimento de água por vários dias, evidenciando a fragilidade da infraestrutura existente.

Nesse cenário, propôs-se o dimensionamento preliminar de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) própria no município. Embora envolva custos significativos de implantação, trata-se de uma solução estratégica para garantir maior autonomia e agilidade na resposta a emergências. Apesar de o estudo não ter como objetivo central o dimensionamento de sistemas de tratamento, essa proposição se justifica pela ausência de uma ETA local e pela necessidade de expansão da infraestrutura, considerando a reconfiguração urbana após a tragédia climática. De acordo com o Governo do Estado (2025), novos bairros estão sendo planejados, como o novo Passo de Estrela, e o perímetro urbano do município já passou de 13,20 km<sup>2</sup> para 20,15 km<sup>2</sup> (Prefeitura Municipal de Cruzeiro do Sul, 2022). Avaliar a viabilidade da ETA própria é uma alternativa de implementação de médio a longo prazo.

Além da ETA, outra solução identificada foi o aproveitamento dos poços artesianos já existentes. O levantamento mostrou que a capacidade dos poços é suficiente para atender à população atual e à demanda projetada, inclusive durante períodos de crise. Por boa parte não terem sido afetados pela enchente, esses poços representam uma fonte segura e viável de abastecimento. É uma estratégia a curto prazo.

Ainda no curto prazo, recomenda-se a instalação de reservatórios de emergência em áreas elevadas e fora da zona de inundação, aproveitando a gravidade para distribuição. Essa medida simples pode aumentar significativamente a resiliência do município, garantindo o fornecimento mínimo em situações críticas.

Outra alternativa com alto potencial de aproveitamento a médio prazo é a captação da água da chuva em telhados de residências e edifícios públicos. Trata-se de uma solução de baixo

custo, com benefícios tanto econômicos quanto ambientais. Quando corretamente dimensionados, os sistemas de captação pluvial podem fornecer volumes suficientes para fins não potáveis, como descargas sanitárias e limpeza de pátios, especialmente úteis no período pós-enchente. Além de contribuir para a segurança hídrica, o uso de cisternas auxilia no controle da drenagem urbana, reduzindo o risco de alagamentos, a erosão e o assoreamento de corpos hídricos, além de favorecer a recarga do lençol freático.

A implementação de sistemas de captação pluvial pode ser incentivada por políticas públicas locais, com subsídios para a construção de cisternas individuais. Essa iniciativa reduziria significativamente o volume de água nas redes de drenagem e aumentaria a autonomia das famílias em situações de emergência. A experiência do Semiárido brasileiro, por meio do Programa de Cisternas, comprova a eficácia dessa estratégia na promoção da resiliência hídrica, porque garante acesso contínuo a água em regiões vulneráveis, descentralização do abastecimento, resiliência frente as mudanças climáticas.

Considerando ainda a inexistência de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) em Cruzeiro do Sul, alternativas descentralizadas para o tratamento e reuso de efluentes domésticos devem ser avaliadas como parte da preparação para futuros eventos extremos um sistema que pode ser implementado a longo prazo. Tecnologias compactas, como biodigestores, wetlands construídos (sistemas de raízes filtrantes) e unidades móveis de tratamento, podem ser implantadas em pontos estratégicos para produzir água de reuso destinada a finalidades não potáveis.

A integração entre reuso de efluentes, captação pluvial e uso de poços forma um sistema multi fonte que aumenta a segurança do abastecimento e reduz a dependência de um único sistema vulnerável a falhas.

Nesse contexto, é essencial adotar uma abordagem estruturada de tomada de decisão em situações emergenciais, com base em critérios técnicos ponderados que permitam comparar e hierarquizar as alternativas de forma objetiva. Para isso, recomenda-se utilizar uma matriz de avaliação que considere os seguintes pesos:

- Rapidez de implementação (30%)
- Confiabilidade operacional (25%)
- Custo de implantação e manutenção (20%)

- Sustentabilidade ambiental (15%)
- Capacidade de atendimento à população (10%)

A aplicação desses critérios permite selecionar soluções que combinem viabilidade técnica, eficiência operacional e resiliência, otimizando o uso de recursos em situações críticas. Além disso, favorece a criação de um plano municipal de contingência hídrica, com estratégias escaláveis, de rápida execução e adaptadas às especificidades locais.

Essas soluções integradas apontam para a necessidade de um planejamento contínuo e transversal, promovendo não apenas a resposta emergencial, mas também a adaptação estrutural da cidade frente à intensificação dos eventos hidrológicos extremos, impulsionados pelas mudanças climáticas.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou que o reabastecimento de água em situações de emergência, como enchentes e escassez hídrica, requer soluções técnicas integradas, sustentáveis e adaptadas à realidade local.

A análise dos resultados evidencia que a vulnerabilidade hídrica do município de Cruzeiro do Sul – RS, intensificada pelas enchentes de 2024, requer uma abordagem estratégica, integrada e adaptativa para garantir o abastecimento de água em situações emergenciais. Diante disso, foram propostas e hierarquizadas soluções de curto, médio e longo prazo, considerando critérios técnicos de decisão como rapidez de implementação, confiabilidade, custo, sustentabilidade e capacidade de atendimento à população.

A hierarquização das alternativas propostas foi orientada por sua viabilidade técnica e operacional frente ao contexto emergencial local. Em primeiro lugar, destaca-se como solução prioritária de curto prazo a utilização dos poços artesianos já existentes, localizados fora da zona de inundação e implantação de reserva de emergência. Essas alternativas apresentam baixo custo, rápida implementação e alta confiabilidade, sendo capaz de atender aproximadamente 30% da demanda municipal como sistema de contingência.

Como medida de médio prazo, recomenda-se a implementação de um programa municipal de incentivo à captação da água da chuva por meio da instalação de cisternas em residências e edifícios públicos, para uso não potável (limpeza, irrigação, descargas sanitárias). Essa estratégia pode ser viabilizada com subsídios municipais e campanhas educativas,

contribuindo significativamente para a redução da demanda sobre o sistema principal e aumentando a resiliência urbana.

A estratégia de longo prazo contempla a avaliação da viabilidade técnica e financeira da implantação de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) própria ou de sistemas descentralizados, como wetlands construídos, de acordo com a evolução demográfica e o desempenho das soluções adotadas nas fases anteriores. A flexibilidade na escolha entre um sistema centralizado ou híbrido permitirá uma expansão escalável e adaptada às futuras demandas.

Paralelamente, é urgente promover ações de conservação ambiental, como a preservação e recuperação de nascentes. O incentivo a produtores rurais e proprietários de terras por meio de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) tem se mostrado eficaz em várias regiões, como no caso de Nova York (EUA) e, mais recentemente, no piloto desenvolvido em Venâncio Aires (RS), servindo como referência para políticas hídricas descentralizadas e preventivas.

Complementarmente, recomenda-se a elaboração de um Plano Municipal de Contingência Hídrica, com diretrizes técnicas para acionamento em situações de emergência, incluindo: protocolo de resposta rápida para desabastecimento; mapeamento contínuo das áreas de risco e infraestruturas críticas; integração de sistemas alternativos (poços, cisternas, reuso) com a rede da Corsan; capacitação técnica de equipes locais para operação emergencial.

Apesar da robustez da proposta, este estudo apresenta limitações, entre elas a ausência de simulações hidrológicas detalhadas e de modelagens operacionais para os diferentes sistemas alternativos. Além disso, a viabilidade econômica completa de cada alternativa ainda dependerá de análises financeiras específicas e de parcerias institucionais.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se desenvolvimento de um fluxograma de decisão técnico-operacional para seleção das alternativas mais adequadas conforme cenário de risco, disponibilidade hídrica e recursos municipais, a elaboração de protocolos padronizados de acionamento emergencial, definindo critérios de prioridade, tempo de resposta e articulação interinstitucional, o estudo de viabilidade econômico-financeira comparativa entre ETA própria, reuso de efluentes e wetlands construídos e avaliação da

aceitação social e percepção da população quanto ao uso de água de reuso e à instalação de sistemas descentralizados.

Conclui-se, portanto, que a segurança hídrica de Cruzeiro do Sul em cenários de emergência só será possível com a diversificação das fontes de abastecimento, o planejamento faseado da infraestrutura, o apoio de políticas públicas locais e o fortalecimento da governança hídrica municipal. A adoção dessas estratégias integradas permitirá não apenas a mitigação de impactos em eventos extremos, mas também o fortalecimento da resiliência urbana e a garantia do acesso à água como direito fundamental, mesmo em contextos de crise climática crescente.

## REFERÊNCIAS

ABAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Poços artesianos como sistemas descentralizados: conceitos e aplicações. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.abas.org/educacao/pocos-para-captacao-de-agua/>. Acesso em: 20 out. 2024.

ASA – ARTICULAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Programa Um Milhão de Cisternas – P1MC. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br>. Acesso em: 20 out. 2024.

ASSESSORIA DE IMPRENSA. Diferente do divulgado pelo Censo, população de Cruzeiro do Sul cresceu. **Prefeitura Municipal de Cruzeiro do Sul**. Lajeado, RS, 3 jul. 2023. Disponível em: <https://cruzeiro.rs.gov.br/noticia/visualizar/id/5200/?diferente-do-divulgado-pelo-censo-populacao-de-cruzeiro-do-sul-cresceu.html>. Acesso em: 03 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12211**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12213**: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público. Rio de Janeiro. ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12215**: Projeto de adutora para abastecimento público. Rio de Janeiro. ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento para abastecimento público. Rio de Janeiro. ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12217**: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro. ABNT, 1994.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 16783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro. ABNT, 2019.

AZEVEDO NETTO, J.M. et al: **Manual de Hidráulica**. 8ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1998.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández y. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2017. *E-Book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 2 out. 2024.

BARBOSA, P. A. et al. Segurança hídrica em comunidades rurais: análise do uso de poços artesianos como sistema descentralizado. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 27, e26, 2022. DOI: 10.1590/2318-0331.2720210101. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/i/2022.v27/>. Acesso em: 29 out. 2024.

BACELLAR, Luis de Almeida Prado; OLIVEIRA, Nilcileia Cristina de; FLUME, Bruna; BARELLA, Cesar Falcão; NOLA, Iraydes Tálita de Sena. Aplicação do método AHP para confecção de modelo de favorabilidade hídrica subterrânea de aquíferos fraturados. **Revista Águas Subterrâneas**, MG, v. 34, n. 1, p. 90-120, 2020. DOI <https://doi.org/10.14295/ras.v34i1.29769>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29769>. Acesso em: 9 nov. 2024.

BELLETTINI, Angela; HOELZEL, Marlon. **Avaliação Técnica Pós-Desastre em Cruzeiro do Sul**. Ministério de Minas e Energia. Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). Porto Alegre, RS, 2024. Disponível em: [https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/24831/1/relatorio\\_cruzeiro\\_do\\_sul\\_rs\\_2024.pdf](https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/24831/1/relatorio_cruzeiro_do_sul_rs_2024.pdf). Acesso em: 9 nov. 2024.

BRASIL. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - Brasília: ANA, 2024. 118 p. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua> Acesso em: 18 out. 2024.

\_\_\_\_\_. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos do Brasil. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - Brasília: ANA, 2024. 96 p. Disponível em: [https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/31604c98-5bbe-4dc9-845d-998815607b33/attachments/Mudancas\\_Climaticas\\_25012024.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/31604c98-5bbe-4dc9-845d-998815607b33/attachments/Mudancas_Climaticas_25012024.pdf). Acesso em: 28 set. 2024.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Monitoramento e Eventos Críticos: Qualidade da água**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>. Acesso em: 18 out. 2024.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Programa Produtor de Água**. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua>. Acesso em: 08 jun. 2025.

\_\_\_\_\_. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2024]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 25 set. 2024.

\_\_\_\_\_. 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. Disponível em:

[https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=450](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450).

Acesso em: 28 set. 2024.

\_\_\_\_\_. 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. Disponível em: <https://portalpnqa.ana.gov.br>.

Acesso em: 19 out. 2024.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 1.285, de 18 de maio de 1939**. Cria o conselho Nacional de Águas e Energia, define suas atribuições e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2024]. Disponível em:

<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEL&numero=1285&ano=1939&ato=f230zZ61ENrpXT635>. Acesso em: 2 out. 2024.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 5.440, de 4 de maio de 2005**. Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento [...]. Brasília, DF: Presidência da República, [2024]. Disponível em:

[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/decreto/d5440.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5440.htm). Acesso em: 28 set. 2024.

\_\_\_\_\_. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3. ed. Rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007. 408p. ISBN: 85-7346-045-8. Disponível em:

<https://wp.ufpel.edu.br/ccz/files/2016/03/FUNASA-MANUAL-SANEAMENTO.pdf>. Acesso em: 16 out. 2024.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos [...]. Brasília, DF: Presidência da República, [2024].

Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm). Acesso em: 28 set. 2024.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção vegetal nativa [...]. Brasília, DF: Presidência da República, [2024]. Disponível em:

[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 16 out. 2024.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 14 jan. 2021.

Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm). Acesso em: 29 out. 2024.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Política Nacional de Saneamento Básico: diretrizes para sistemas descentralizados. Brasília, 2017. Disponível em:

<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/politica-nacional-de-saneamento-basico>. Acesso em: 22 out. 2024.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021**. – Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/panorama-do-saneamento-basico-do-brasil>. Acesso em: 10 out. 2024.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (MDS). **Programa Cisternas diversifica territórios de atuação e inova nas 69 mil tecnologias instaladas desde 2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/mds>. Acesso em: 20 out. 2024.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 83, p. 88–95, 2021. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 05 jun. 2025.

BRITO, Luiza Teixeira de Lima. A água de chuva como potencial para aumentar a disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro. **Caderno do Semiárido: Riquezas e Oportunidades**, v. 11, n. 11, p. 15-62, mai./jun. 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1098448>. Acesso em: 06 jun. 2025.

BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance. In: Moshiri GA (Ed.). **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/230563369\\_Wastewater\\_Treatment\\_in\\_Constructed\\_Wetlands\\_System\\_Design\\_Removal\\_Processes\\_and\\_Treatment\\_Performance](https://www.researchgate.net/publication/230563369_Wastewater_Treatment_in_Constructed_Wetlands_System_Design_Removal_Processes_and_Treatment_Performance). Acesso em: 10 jun. 2025.

CAMPOS, R. S.; MENDES, F. L.; LIMA, T. P. Avaliação da sustentabilidade de poços artesianos em sistemas descentralizados. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 589–597, 2021. DOI: 10.1590/S1413-41522021260324. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/i/2021.v26n3/>. Acesso em: 29 out. 2024.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional, 2003. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br> Acesso em: 19 out. 2024.

**CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA**. Reuso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado do Rio Grande do Sul/Confederação Nacional da Indústria – Brasília: CNI, 2024. 123 p.: il. ISBN 9788579572906. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2024/4/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial-avaliacao-de-oferta-e-da-demanda-no-estado-do-rio-grande-do-sul/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

CORSAN. Lançada em Venancio Aires parceria com MPRS para conservação de nascentes. 11 jun. 2024. Disponível em: <https://corsan.com.br/corsan-e-mprs-lancam-parceria-em-venancio-aires/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

COSTA, Adilson Ben da; OLBERMANN, Nara Sofia; ALCAYAGA, Eduardo Lobo; SCHUCH, Marília. **Avaliação do impacto ambiental: Estudo de caso do Arroio São Rafael, município de Cruzeiro do Sul, RS, Brasil**. 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/27791520\\_Avaliacao\\_do\\_impacto\\_ambiental\\_estudo\\_de\\_caso\\_do\\_arroio\\_sao\\_rafael\\_municipio\\_de\\_Cruzeiro\\_do\\_Sul\\_RS\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/27791520_Avaliacao_do_impacto_ambiental_estudo_de_caso_do_arroio_sao_rafael_municipio_de_Cruzeiro_do_Sul_RS_Brasil). Acesso em: 1 nov. 2024.

COVATTI, Cláudio Luiz; FEDRIGO, Camila Paese; CALGARO, Cleide. **Direito fundamental à água e o constitucionalismo latino-americano**. 2. ed. Caxias do Sul: EDUCS, 2017. *E-book*. ISBN 978-85-7061-889-4. Disponível em: [https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/ebook-direito-fundamental\\_2.pdf](https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/ebook-direito-fundamental_2.pdf). Acesso em: 28 set. 2024.

**DECLARAÇÃO DE DUBLIN SOBRE ÁGUA E DESENVOLVIMENTO HUMANO**, 1., 1992, Dublin. Disponível em: <https://www.un-documents.net/h2o-dub.htm>. Acesso em: 25 set. 2024.

**DEFESA CIVIL atualiza balanço das enchentes no RS – 20/8**. rs.gov.br, 20 ago. 2024. Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-10-7-66b67813ba21f-66c4eed627af9>. Acesso em: 25 mai. 2025.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em 19 out. 2024.

FALEIRO, Filipe. A fúria devastadora das águas. **A Hora**. Lajeado, RS, 18 mai. 2024. Disponível em: <https://grupoahora.net.br/conteudos/2024/05/18/a-furia-devastadora-das-aguas/>. Acesso em 20 out. 2024.

FRANCO FILHO, Georgenor de Sousa. **Declaração Universal dos Direitos Humanos de 1948**. Enciclopédia jurídica da PUC-SP. 1. ed. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2022. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/531/edicao-1/declaracao-universal-dos-direitos-humanos-de-1948>. Acesso em: 27 set. 2024.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. *E-book*. ISBN 978-85-86238-79-5. Disponível em: <https://www.docdroid.net/QGXmC8f/paulo-roberto-fitz-cartografia-basica-pdf#page=5>. Acesso em: 9 nov. 2024.

FONSECA, Eliana Lima; WEBER, Eliseu José; HASENACK, Heinrich; SILVA, Wallace; MESQUITA, Vinicius; MARTIN, Eduardo Véleza; SCHIRMBECK, Juliano; SIQUEIRA, João; FERREIRA, Bruno; JUNIOR, Paulo Teixeira; AZEVEDO, Tasso; SHIMBO, Julia. Nota Técnica: Os impactos do evento climático de maio de 2024 sobre a cobertura e o uso da terra no Rio Grande do Sul. **MAPBIOMAS**. 3 jul. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/notas-tecnicas/#:~:text=Nota%20T%C3%A9cnica%20sobre%20os%20impactos,exurradas%2C%20inunda%20e%20alagamentos%20e>. Acesso em: 1 nov. 2024.

FUNASA. Manual de Saneamento 5ª ed. 2019. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>. Acesso em: 30 mai. 2025.

GLOBO RURAL. Serviços ambientais em Nova York – EUA. Youtube. 10 out. 2008. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QWv-xiSiRnE>. Acesso em: 10 jun. 2025.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias**. 2ª ed. João Pessoa: Editora Universitária, 2004.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA. **Manual de drenagem urbana – MDU**. 2002. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/mdu\\_versao01.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mdu_versao01.pdf). Acesso em 16 out. 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Leite vai a Cruzeiro do Sul fazer novos anúncios e mostrar a transformação pela qual a cidade esta passando. Porto Alegre, RS. 2025. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/leite-vai-a-cruzeiro-do-sul-fazer-novos-anuncios-e-mostrar-a-transformacao-pela-qual-a-cidade-esta-passando>. Acesso em: 10 jun. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Saúde. Portaria SES nº 415/2023. Altera a Portaria SES nº 10/99, que define teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano [...] Porto Alegre, RS. 2023. Disponível em: <https://saude.rs.gov.br/upload/arquivos/202303/21094142-portaria-415-2023-cevs.pdf>. Acesso em: 5jun. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Comunicação do governo. **Boletins sobre o impacto das chuvas no RS**. Porto Alegre, RS. 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/boletins-sobre-o-impacto-das-chuvas-no-rs>. Acesso em: 3 nov. 2024.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Desenvolvimento Rural. **Impacto das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024**. Porto Alegre, RS. 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2024.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2010. ISBN: 978-85-7041-845-6. Disponível em: [https://www.google.com.br/books/edition/Abastecimento\\_de\\_%C3%A1gua\\_para\\_consumo\\_huma/XFnnhzqetCoC?hl=pt-BR&gbpv=1](https://www.google.com.br/books/edition/Abastecimento_de_%C3%A1gua_para_consumo_huma/XFnnhzqetCoC?hl=pt-BR&gbpv=1). Acesso em: 9 nov. 2024.

\_\_\_\_\_. **Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2016.

Howard, Guy.; Bartram, Jamie; WILLIAMS, Ashley; OVERBO, Alycia; FUENTE, David; GEERE, Jo-Anne. **Domestic Water Quantity, Service Level and Health**. World Health

Organization. 2. ed. 2020. Disponível em:

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240015241>. Acesso em: 9 nov. 2024.

**INFOSANBAS.** Dados de saneamento básico de cada município brasileiro: Cruzeiro do Sul, RS. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/cruzeiro-do-sul-rs/>. Acesso em: 3 nov. 2024.

**INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO.** **Abastecimento de Água.** Cruzeiro do Sul, RS. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/rs/cruzeiro-do-sul>. Acesso em: 4 nov. 2024.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.** Cidades e Estados, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/lajeado.html>. Acesso em: 01 nov. 2024.

IRITANI, Mara Akie; EZAKI, Sibebe. **As águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** 3. ed. São Paulo: SMAG/IG, 2012. 104 p. ISBN 978-85-62251-30-6. Disponível em: <https://arquivo.ambiente.sp.gov.br>. Acesso em: 19 out. 2024.

ISAIAS, Cláudio. Cruzeiro do Sul registra o maior número de mortes pelas chuvas no RS. **Jornal do Comércio.** Porto Alegre, RS, 6 mai. 2024. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/geral/2024/05/1153310-cruzeiro-do-sul-registra-maior-numero-de-mortes-pelas-chuvas-no-rs.html>. Acesso em: 20 out. 2024.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. Treatment wetlands. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. 1016 p. Disponível em: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/KADLEC%20WALLACE%202009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition\\_0.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/KADLEC%20WALLACE%202009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition_0.pdf). Acesso em: 10 jun. 2025.

KEHL, Laura. **Influência da expansão urbana sobre as vazões máximas do Arroio Jararaca, em Arroio do Meio.** 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Taquari – Univates, Lajeado, RS, nov. 2016.

LOCATELLI, Ricardo Cesar. **Publicação eletrônica em homenagem aos 50 anos de Cruzeiro do Sul-RS.** Prefeitura Municipal de Cruzeiro do Sul. 2013. Disponível em: [https://cruzeiro.rs.gov.br/uploads/tinymce/files/\\_revista\\_cruzeiro.pdf](https://cruzeiro.rs.gov.br/uploads/tinymce/files/_revista_cruzeiro.pdf). Acesso em 3 nov. 2024.

MAGALHÃES, Antônio Pereira J.; LOPES, Frederico Wagner de Azevedo. **Recursos hídricos: as águas na interface sociedade-natureza.** 1. ed. [S.I.]: Oficina de Textos, 2022. E-book. Disponível em: <http://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 19 out. 2024.

MAIA, Paula. Reunião de Frente Parlamentar aborda planos de prevenção e mitigação diante de desastres naturais. **Jornal Correio do Povo.** Porto Alegre, RS, 28 jun. 2024. Disponível em: <https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/cidades/reuni%C3%A3o-de-frente-parlamentar-aborda-planos-de-preven%C3%A7%C3%A3o-e-mitiga%C3%A7%C3%A3o-diante-de-desastres-naturais-1.1507451>. Acesso em 20 out. 2024.

MAIORES cases de sistemas wetlands construídos ao redor do mundo. Wetlands, Belo Horizonte, 17 fev. 2020. Disponível em: <https://www.wetlands.com.br/post/wetlands-construidos-tratamento-grandes-vazoes-industria-e-saneamento>. Acesso em: 08 jun. 2025.

MAURO, Cláudio Antônio Di. Conflitos pelo uso da água. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, MG, v. 1, n. 36, p. 81-105, 2014. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3174>. Acesso em: 29 set. 2024.

MEDEIROS, G. L. P. de; COSTA, E. B. da; DANTAS, R. A. M. RELAÇÕES HISTÓRICAS ENTRE EPIDEMIAS E O AMBIENTE URBANO NO BRASIL: SÍNTESE INTRODUTÓRIA. *Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente*, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 141–154, 2021. DOI: 10.21680/2448-296X.2021v6n2ID23665. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/23665>. Acesso em: 10 out. 2024.

METSUL. **Laudo meteorológico sobre o evento de chuva extrema e enchentes recordes**. 2024. Disponível em: [https://metsul.com/wp-content/uploads/2024/06/metsul-laudo\\_V4\\_assinado.pdf](https://metsul.com/wp-content/uploads/2024/06/metsul-laudo_V4_assinado.pdf). Acesso em: 3 nov. 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível em: <https://portalsinan.saude.gov.br>. Acesso em: 18 out. 2024.

MORAES, Sofia Royer. **Mapeamento das áreas e edificações atingidas pelas inundações do Rio Taquari na área urbana do município de Lajeado/RS**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, dez. 2015. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/a4c67d61-bb59-40ec-8e28-0dd5eafd4cbf/content>. Acesso em: 20 out. 2024.

MORAES, Sofia Royer; COLLISCHONN, Walter, ECKHARDT, Rafael Rodrigo; BUFFON, Franco Turco. Consolidação da série histórica dos níveis das cheias do rio Taquari em Lajeado de 1939 a 2023. **ABRHidro**, Curitiba, Paraná, 2024. ISSN 2764-9040. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=16892>. Acesso em: 9 nov. 2024.

MORAES, Sofia Royer. Tratamento de Água. Slide de aula. Universidade do Vale do Taquari, Curso de Engenharia Civil, 2022. Material Interno.

MORIGGI, Ranieri. Pesquisador alerta para sequência de desastres climáticos na região. **Jornal Semanário**. Bento Gonçalves, RS, 1 jun. 2024. Disponível em: <https://jornalsemanario.com.br/pesquisador-alerta-para-sequencia-de-desastres-climaticos-na-regiao/>. Acesso em: 20 out. 2024.

NETTO, José M. Azevedo. Cronologia dos serviços de esgotos, com especial menção ao Brasil. **Revista DAE**, 33° ed. 1959. Disponível em: [https://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_33\\_n\\_704.pdf](https://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_33_n_704.pdf). Acesso em: 29 set. 2024.

\_\_\_\_\_. 1984. Cronologia do abastecimento de água até 1970. **Revista DAE**., Vol. 44 - nº 137. Disponível em: [https://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_137\\_n\\_1175.pdf](https://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_137_n_1175.pdf). Acesso em 29 set. 2024.

NEUMANN, Bruna Franciele. **Estudo comparativo entre alternativas de implantação de um sistema de abastecimento de água no Município de Cruzeiro do Sul**. 2015.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, Santa Cruz do Sul, RS, 2015. Disponível em:

<https://repositorio.unisc.br/jspui/handle/11624/1124>. Acesso em: 28 abr. 2025.

NUNES, Riane. **Vulnerabilidade dos recursos hídricos no âmbito regional e urbano**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. *E-book*. Disponível em:

<https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 01 nov. 2024.

OLIVEIRA, Anna Lou Mucharski Strafit de. **Governança da água no Brasil e no mundo**. 1 ed. São Paulo: Contentus, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>.

Acesso em: 28 set. 2024.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Declaração Universal dos Direitos Humanos da ONU**. 1948. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/por.pdf>. Acesso em: 27 set. 2024.

ONU - Organização das Nações Unidas. **O Direito Humano à Água e ao Saneamento**. Disponível em:

[https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_milestones\\_por.pdf](https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_milestones_por.pdf). Acesso em: 27 set. 2024.

PEREIRA, H. S.; FONSECA, M. F. **Pagamento por Serviços Ambientais: princípios, conceitos e experiências brasileiras**. Revista Brasileira de Direito das Águas, v. 3, n. 1, p. 34–47, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rbda/article/view/63753>. Acesso em: 30 out. 2024.

PEREIRA, Marco A. F.; BERBIEIRO, Bruno Lippo; QUEVEDO, Daniela Muller de. Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada os recursos hídricos. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, v.23, n. 32, p. 308-320, 2020. ISSN 1982-4513. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 18 out. 2024.

PERONDI, Taise et al. Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 4, p. 619-634, 2020. DOI: 10.1590/s1678-86212020000400486. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/HGrCnXyRwQZN3QGsbkR8Tv/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2025.

PINTO, Jorge; VARAJÃO, João; VARUM, Humberto; DUARTE, Antônio; BENTES, Isabel. Sistemas de abastecimento de água - avaliação da vulnerabilidade. **Revista Recursos Hídricos**, vol. 31, n. 2, p. 61-71, 2010. ISSN 0870-1741. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/55616933.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.

PLANSAB. Plano Nacional de Saneamento Básico. Cisternas e Políticas Públicas - Caderno Técnico 3. Agosto de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico->

[plansab/arquivos/copy\\_of\\_CadernoTemtico\\_CisternasePolticasPblicas.pdf](#). Acesso em: 20 out. 2024.

POSSANTTI, Iporã; MULLER, José; RUHOFF, Anderson. Cheias no Rio Grande do Sul. **Storymaps**, Porto Alegre, RS, 2024. Disponível em: <https://storymaps.arcgis.com/stories/a81d69f4bccf42989609e3fe64d8ef48>. Acesso em: 12 nov. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CRUZEIRO DO SUL. Cruzeiro do Sul tem 50% de aumento na área urbana. Cruzeiro RS, 29 dez. 2022. Disponível em: <https://cruzeiro.rs.gov.br/noticia/visualizar/idDep/1001/id/4923/?cruzeiro-do-sul-tem-50-de-aumento-na-area-urbana.html#:~:text=A1%C3%A9m%20disso%2C%20foram%20criados%20sete,Boa%20Esp%20eran%C3%A7a%3B%20e%20Bom%20Fim>. Acesso em: 10 jun. 2025.

REIS, Edna Afonso; REIS, Ilka Afonso. **Análise Descritiva de Dados**. Relatório Técnico do Departamento de Estatística da UFMG. 1 ed. 2002. Disponível em: <https://www.est.ufmg.br/portal/wp-content/uploads/2023/01/RTE-02-2002.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2009. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 5 jun. 2025.

ROLA, Sylvia Meimaridou; SILVA, Neilton Fidelis; VAZQUEZ, Elaine Garrido. Águas Pluviais e Resiliência Urbana ou os Impactos da Vulnerabilidade Hídrica em Área Rurais e Urbanas no Brasil. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**. [S. I.], v. 15, n. 1, p. 28, 2015. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cpgau/article/view/2015.1.Rola>. Acesso em: 6 jun. 2025.

SANTOS, Natiely Quevedo dos; JUSTINA, Lourdes Aparecida Della. O Tema “Água” nos Anais do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Hipátia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 155-167, jun. 2020. Disponível em: [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=pt-BR&user=NQtKLt8AAAAJ&citation\\_for\\_view=NQtKLt8AAAAJ:TQgYirikUcIC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=NQtKLt8AAAAJ&citation_for_view=NQtKLt8AAAAJ:TQgYirikUcIC). Acesso em: 28 set. 2024.

SERVIÇOS Ambientais em Nova York. Youtube, **Globo Rural**, 26 out. 2008. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QWv-xiSiRnE>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas SIAGAS. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/index.php>. Acesso em: 15 out. 2024.

SEZERINO, Paulo Heleno; Pelissari Catiane. Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiencias brasileiras. 1 ed. Curitiba: Brazil Publishing, 2021. ISBN 978-65-5861-293-3. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2021/02/E-book-WETLANDS-BRASIL-Experi%C3%Aancias-Brasileiras-1.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SILVA, A. de S.; PORTO, E. R.; LIMA, L. T. de; GOMES, P. C. F. Captação e conservação de água de chuva para consumo humano: cisternas rurais – dimensionamento, construção e manejo. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 1984. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/133227/captacao-e-conservacao-de-agua-de-chuva-para-consumo-humano-cisternas-rurais-dimensionamento-construcao-e-manejo>. Acesso em: 20 out. 2024.

SILVA, Josemar Pereira. Análise do índice de estabilidade das vertentes da bacia hidrográfica do Rio Ribeirão. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná - UFP, Paranaguá, PR, 2011. Disponível em: [https://lageo.ufpr.br/site/wp-content/uploads/2013/11/monografia\\_josemar.pdf](https://lageo.ufpr.br/site/wp-content/uploads/2013/11/monografia_josemar.pdf). Acesso em 19 out. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH. **Painel de Indicadores**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMWE2ZTE1NmItOGUyZS00ZTc1LTljMzUtNDgwYjVhODcyNWIIiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9> Acesso em 18 out. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Site Institucional, 2022. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/Snis/RESIDUOS\\_SOLIDOS/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_RS\\_SNIS\\_2023\\_ATUALIZADO.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Snis/RESIDUOS_SOLIDOS/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2023_ATUALIZADO.pdf). Acesso em: 10 out. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. Site Institucional, 2022. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/rs/cruzeiro-do-sul>. Acesso em: 3 out. 2024.

SOBRINHO, Pedro Alem; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. 547 p.

TALAMONE, Rose; JUNIOR, Ferraz. A complexa geografia da água no Brasil e no mundo. **Jornal da USP**, São Paulo, 27 mar. 2024. Disponível em: <https://jornal.usp.br/?p=734919>. Acesso em 19 out. 2024.

TELLES, Dirceu D’Alkin; COSTA, Regina Pacca. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. E-book. Disponível em: <http://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 3 out. 2024.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água da chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. v. 1. 2010. Disponível em: [https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5\\_bfa504956e664155b22974ef016e05a7.pdf?index=true](https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_bfa504956e664155b22974ef016e05a7.pdf?index=true). Acesso em: 06 jun. 2025.

TREZZI, Humberto; TÂMBARA, Ian. “É um tsunami, não tem como usar outra palavra”, descreve morador da devastada cidade de Cruzeiro do Sul. **Zero Hora**. Porto Alegre, RS, 06

mai. 2024. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2024/05/e-um-tsunami-nao-tem-como-usar-outra-palavra-descreve-morador-da-devastada-cidade-de-cruzeiro-do-sul-clvuselxd00070152bbtetdbz.html>. Acesso em: 20 out. 2024.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p. ISBN 85-900823-6-9.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; LARENTIS, Dante Game; NOGARE, Marianni; POHLMANN, Patricia. Procedimentos e critérios para zoneamento de planícies de inundação em áreas urbanas. **Revista de Gestão da Água da América Latina**, v. 17, e. 13, 2020. ISSN 2359-1919. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=217&SUMARIO=5365&S T=procedimentos e criterios para zoneamento de planicies de inundacao em areas urbanas>. Acesso em: 9 nov. 2024.

UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES. **Histórico de dados meteorológicos**. Disponível em: <https://www.univates.br/nih/historico-de-dados>. Acesso em: 08 jun. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Instituto de Pesquisas Hidráulicas**. Sinais da ocorrência de movimentos de massa (escorregamento translacional, escorregamento rotacional e fluxo de detritos). Porto Alegre, jun. 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/?p=2637>. Acesso em: 19 out. 2024.

WETLANDS para tratamento de esgotos: uma solução para efluentes sanitários. Wetlands, Belo Horizonte, 22 jan. 2020. Disponível em: <https://www.wetlands.com.br/post/wetlands-para-tratamento-de-esgotos-uma-solucao-para-efluentes-sanitarios>. Acesso em: 08 jun. 2025.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Dados dos poços

Localização	Natureza	sub-bacia	Situação	Uso água	Condição	Profundidade Final	Vazão Estabilização (m³/h)
RUA DOM PEDRO II	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	70	8,8
AREA INDUSTRIAL	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	78	6,8
PICADA SAO GABRIEL	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	63	5
LINHA PRIMAVERA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Livre	65	6,8
PICADA SAO GABRIEL	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	53	2,4
ESCOLA ESTADUAL DE 1º GRAU SAO RAFAEL	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Livre	70	6,9
SAO RAFAEL - CTG	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	74	5,3
SAO RAFAEL	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	42	6
PICADA SAO GABRIEL	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	72	7
SAO GABRIEL	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	51	7,2
BOA ESPERANCA - IGREJA EVANGELICA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	95	12
LINHA SITIO	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Livre	23	9,2
LINHA SITIO	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Livre	80	11
LINHA MARAVALHA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	70	11,8
LINHA 22 DE NOVEMBRO	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Livre	68	12
LINHA 22 DE NOVEMBRO - ESCOLA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	84	10
BOA ESPERANCA CENTRO	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	38	10
SAMPAIO	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Livre	50	6
ALTO PICADA AURORA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	84	12
PICADA AURORA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	95	24

PICADA AUGUSTA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	111	1
PICADA AUGUSTA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	146	6
LINHA PRIMAVERA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	140	12
LINHA PRIMAVERA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	125	4
BAIRRO SÃO RAFAEL, ATRÁS DA ESCOLA	Poço tubular	Rio Taquari	Bombeando	Abastecimento urbano	Confinado	162	7,013
Vazão						210,213 m <sup>3</sup> /h	
						5045,112 m <sup>3</sup> /d	

### APÊNDICE B – Precipitação dos últimos 10 anos

Mês	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015
<b>Janeiro</b>	143,4	82	145,2	173,8	215,4	135		218,7	127,8	340,4
<b>Fevereiro</b>	74	176,6	67,8	74,6	79	120,2		184,4	210,3	223
<b>Março</b>	109	113	183,2	153,4	21,8	114	178,5	201,4	544,6	93,5
<b>Abril</b>	529,8	38,2	199,8	12,8	39,6	167,4	77,2	105,8		165,1
<b>Mai</b>	641,8	271,4	207,4	224,4	195	216,1	67,8		63,2	172,2
<b>Junho</b>	237,8	276	206,8	150	175	66,4	136,8	173,2	27,4	256,8
<b>Julho</b>	90,2	184,4	132,8	46	261,1	116,5	116,9	33,8	225,52	432,8
<b>Agosto</b>	50,6	62,6	155,2	141,2	123,4	77,4	161	133,2	108,8	116,3
<b>Setembro</b>	155,4	463	99,2	268,2	173,4	64,2	238	130	98	302,3
<b>Outubro</b>	113	186,2	104,4	109,6	37,2	384,2	150,6		379,2	478
<b>Novembro</b>	85,6	304,2	47,6	34,6	84,6	197,6	214,7	144,6	180	246,9
<b>Dezembro</b>	158,2	166,6	139,6	16,8	119,6	49,8	108,6	70,6	179,8	286,8
<b>Média Anual</b>	<b>2388,8</b>	<b>2324,2</b>	<b>1689</b>	<b>1405,4</b>	<b>1525,1</b>	<b>1708,8</b>	<b>1450,1</b>	<b>1395,7</b>	<b>2144,62</b>	<b>3114,1</b>
<b>Média Mensal</b>	<b>199,1</b>	<b>193,7</b>	<b>140,8</b>	<b>117,1</b>	<b>127,1</b>	<b>142,4</b>	<b>120,8</b>	<b>116,3</b>	<b>178,7</b>	<b>259,5</b>
<b>Média mensal dos últimos 10 anos</b>										<b>160 mm</b>

Mês	Mensal acumulado nos últimos 10 anos (mm)
<b>Janeiro</b>	1581,7
<b>Fevereiro</b>	1209,9
<b>Março</b>	1712,4
<b>Abril</b>	1335,7
<b>Mai</b>	<b>2059,3</b>
<b>Junho</b>	1706,2
<b>Julho</b>	1640,0
<b>Agosto</b>	1129,7

<b>Setembro</b>	1991,7
<b>Outubro</b>	1942,4
<b>Novembro</b>	1540,4
<b>Dezembro</b>	1296,4



**UNIVATES**

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09