

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DO AGRONEGÓCIO

OBERTI MARTINS BIZOTTO

IMPACTO DO MODELO CAXAMBU NA QUALIDADE DA ÁGUA:

Estudo de Caso em Propriedades Rurais de Cerro Negro/SC

Lages

2025

OBERTI MARTINS BIZOTTO

IMPACTO DO MODELO CAXAMBU NA QUALIDADE DA ÁGUA:

Estudo de Caso em Propriedades Rurais de Cerro Negro/SC

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão do Agronegócio do Câmpus Lages do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Gestão do Agronegócio.

Orientadora: Prof^a. Dra.
Luciane Costa de Oliveira

Lages

2025

OBERTI MARTINS BIZOTTO

IMPACTO DO MODELO CAXAMBU NA QUALIDADE DA ÁGUA:
Estudo de Caso em Propriedades Rurais de Cerro Negro/SC

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão do Agronegócio, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Lages, 08 de dezembro de 2025.

Prof^ª. Luciane Costa de Oliveira, Dr^ª.
Orientadora
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Carlos Alberto Ostrowski, Me.
Universidade do Planalto Catarinense - Uniplac

Prof. Fernando Domingo Zinger, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos homens e mulheres que dedicam sua vida para construir um mundo melhor com dignidade, humildade e humanidade. Que, mesmo diante das dificuldades, mantêm a esperança, o senso de justiça e o compromisso com o próximo. A cada esforço silencioso, a cada gesto simples e a cada atitude ética, deixo aqui meu respeito e minha gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, que sempre me concedeu a vida e a oportunidade de realizar minhas escolhas.

Agradeço à minha família, que esteve ao meu lado em todos os momentos.

Expresso minha gratidão ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), instituição pública de ensino de excelência, que sempre manteve suas portas abertas para acolher seus acadêmicos sem distinção.

Por fim, agradeço a todos os profissionais da educação desta instituição, em especial à minha orientadora, Luciane Costa de Oliveira, responsável por apresentar-me o Curso Superior de Tecnologia em Gestão do Agronegócio, o qual, neste momento, concluo.

“Quando a última árvore tiver caído,
quando o último rio tiver sido poluído,
quando o último peixe for pescado,
você vão entender que dinheiro não se come.”

(Alanís Obomsawin)

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), possui a natureza de uma pesquisa aplicada e exploratória-descritiva, com o objetivo principal de avaliar a qualidade da água proveniente de três unidades de proteção de fonte modelo Caxambu, implantadas em 2022 no município de Cerro Negro/SC, um contexto marcado pela baixa cobertura de saneamento, onde apenas 24,2% da população rural brasileira é atendida por rede de abastecimento. O valor e a originalidade da pesquisa residem na reavaliação destas fontes dois anos após a implantação, comparando os dados primários de 2025 com os resultados secundários obtidos previamente por Mota, Machado e Oliveira (2023), visando determinar a melhoria na condição de potabilidade. O método empregado foi um estudo de caso do tipo multicaso, com abordagem mista (quantitativa e qualitativa), seguindo rigorosamente a metodologia SMEWW (Standard Methods for the Examination of Wastewater, APHA, 2012). Foram analisados oito parâmetros físico-químicos e microbiológicos (cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos, pH, DBO, DQO, cloro livre e coliformes), em conformidade com a Portaria GM/MS Nº 888/2021. Os resultados mais importantes permitem afirmar que o modelo Caxambu exerce impacto positivo na proteção física das fontes avaliadas, reduzindo gradativamente a presença de microrganismos indicadores de contaminação fecal, e contribuindo para a melhoria da qualidade da água ao longo do tempo. Todas as três fontes registraram ausência de coliformes termotolerantes na coleta final de 2025, um indicador crucial de contaminação fecal, atendendo o padrão de potabilidade para este parâmetro. Contudo, a potabilidade plena não foi alcançada devido à persistência de coliformes totais (100 a 250 UFC/100 ml) e, principalmente, à turbidez, que excedeu o Valor Máximo Permitido (VMP de 5 uT) em diversas amostras nas fontes 1 e 2. Embora o sistema Caxambu reduza significativamente os riscos, medidas complementares de tratamento (como fervura ou cloração) permanecem necessárias para o consumo humano, reforçando o modelo como uma alternativa para a segurança hídrica, por meio de Solução Alternativa Individual de abastecimento de água para consumo humano (SAI), em comunidades rurais desassistidas e isoladas, onde haja inviabilidade técnica de instalação de Sistema de Abastecimento de Água para consumo humano (SAA) ou Solução Alternativa Coletiva de abastecimento de água para consumo humano (SAC) estruturado. A melhoria nos índices de qualidade da água, mesmo que em sistema de proteção de fonte, modelo Caxambu ou outros modelos, está diretamente relacionada às condições ambientais e sanitárias da área de contribuição do entorno da nascente.

Palavras-Chave: saneamento básico; segurança hídrica; legislação ambiental; tecnologia social.

ABSTRACT

This Final Course Project (TCC) is an applied and exploratory-descriptive research study, with the main objective of evaluating the water quality from three Caxambu model spring protection units, implemented in 2022 in the municipality of Cerro Negro/SC, a context marked by low sanitation coverage, where only 24.2% of the Brazilian rural population is served by a water supply network. The value and originality of the research lie in the re-evaluation of these springs two years after implementation, comparing the primary data from 2025 with the secondary results previously obtained by Mota, Machado and Oliveira (2023), aiming to determine the improvement in potability conditions. The method employed was a multi-case study, with a mixed approach (quantitative and qualitative), rigorously following the SMEWW methodology (Standard Methods for the Examination of Wastewater, APHA, 2012). Eight physicochemical and microbiological parameters (color, turbidity, total dissolved solids, pH, BOD, COD, free chlorine, and coliforms) were analyzed, in accordance with Ordinance GM/MS No. 888/2021. The most important results allow us to affirm that the Caxambu model has a positive impact on the physical protection of the evaluated sources, gradually reducing the presence of microorganisms indicative of fecal contamination, and contributing to the improvement of water quality over time. All three sources registered an absence of thermotolerant coliforms in the final collection of 2025, a crucial indicator of fecal contamination, meeting the potability standard for this parameter. However, full potability was not achieved due to the persistence of total coliforms (100 to 250 CFU/100 ml) and, mainly, turbidity, which exceeded the Maximum Permissible Value (MPV of 5 NTU) in several samples from sources 1 and 2. Although the Caxambu system significantly reduces risks, complementary treatment measures (such as boiling or chlorination) remain necessary for human consumption, reinforcing the model as an alternative for water security, through an Individual Alternative Solution for drinking water supply (SAI), in underserved and isolated rural communities, where there is technical infeasibility of installing a structured Water Supply System (SAA) or Collective Alternative Solution for drinking water supply (SAC). The improvement in water quality indices, even in a source protection system, Caxambu model or other models, is directly related to the environmental and sanitary conditions of the contributing area surrounding the spring.

Keywords: basic sanitation; water security; environmental legislation; social technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema de Instalação de fonte modelo Caxambu.....	23
Figura 2 – Localização do Município de Cerro Negro em Santa Catarina.....	35
Figura 3 – Imagem da fonte nº 01, antes (esquerda), no ato (centro) e atualmente (direita).....	37
Figura 4 – Localização da fonte nº 01 em relação à declividade do terreno, residências e instalações, e projeção legalmente constituída da Área de Preservação Ambiental (APP), 15m e 50m.....	38
Figura 5 – Imagem da fonte nº 02, antes (esquerda), no ato (centro) e atualmente (direita).....	39
Figura 6 – Localização da fonte nº 02 em relação à declividade do terreno, estrada, residências e instalações, e projeção legalmente constituída da Área de Preservação Ambiental (APP), 15m e 50m.....	40
Figura 7 – Imagem da fonte nº 03, antes (esquerda), no ato (centro) e atualmente (direita).....	41
Figura 8 – Localização da fonte nº 03 em relação à declividade do terreno, estrada, residências e instalações, e projeção legalmente constituída da Área de Preservação Ambiental (APP), 15m e 50m.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrão organoléptico de potabilidade.....	31
Tabela 2 – Localização georreferenciada das fontes protegidas pelo modelo Caxambu no Município de Cerro Negro/SC.....	36
Tabela 3 – Resultados físicos, químicos, organolépticos e microbiológicos da água.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Padrão bacteriológico da água para consumo humano.....	29
Quadro 2 – Padrão de turbidez para água pós-desinfecção (para águas subterrâneas) ou pós-filtração.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APHA – American Public Health Association
APP – Área de Preservação Permanente
Consema – Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
Epagri – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
Funasa – Fundação Nacional de Saúde
GM – Gabinete do Ministro
MS – Ministério da Saúde
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina
MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional
mg/L – Miligramas por Litro
mg – Miligrama
ml – Mililitro
OMS – Organização Mundial da Saúde
O₂ – Oxigênio
PVC - Poli Cloreto de Vinila
pH – Potencial Hidrogeniônico
SAA – Sistema de Abastecimento de Água para consumo humano
SAC – Solução Alternativa Coletiva de abastecimento de água para consumo humano
SAI – Solução Alternativa Individual de abastecimento de água para consumo humano
Sinisa – Sistema Nacional de Informações em Saneamento
SMEWW – Standard Methods for the Examination of Wastewater
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TCE/SC – Tribunal de Contas do Estado de Santa Catarina
UFC/100 ml – Unidades Formadoras de Colônia por 100 mililitros
uH – Unidade Hazen

uT – Unidade de Turbidez

VMP – Valor Máximo Permitido

LISTA DE SÍMBOLOS

° – Grau

' – Minuto

" – Segundo

(S) – Sul

(W) – Oeste

m – Metro

< – Menor que

> – Maior que

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo geral	18
1.1.2 Objetivos específicos	18
1.1.3 Justificativa	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Saneamento Básico no Brasil	20
2.2 Abastecimento de Água no Meio Rural	21
2.3 Sistema Caxambu como Alternativa para Abastecimento de Água no Meio Rural	22
2.4 Impacto do Sistema Caxambu na qualidade da Água	24
2.5 Legislação e Parâmetros de Potabilidade da Água	25
2.5.1 A legislação ambiental e as nascentes	25
2.5.2 Os parâmetros de potabilidade da água	27
3 METODOLOGIA	32
3.1 Local de Estudo	35
3.2 Caracterização das fontes	36
3.2.1 Caracterização da fonte n° 01	37
3.2.2 Caracterização da fonte n° 02	39
3.2.3 Caracterização da fonte n° 03	40
3.3 Coletas e amostras	43
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	44
4.1 Análise da fonte n° 01	49
4.2 Análise da fonte n° 02	51
4.3 Análise da fonte n° 03	51
5 CONCLUSÃO	53
5.1 Limitações do Estudo	54
5.2 Recomendações e Sugestões para Trabalhos Futuros	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Entre os diversos recursos fornecidos pela natureza, a água é um dos mais essenciais aos seres vivos. Ela é um recurso natural insubstituível para a manutenção da vida saudável e do bem-estar de todos. Mas, mesmo sabendo disso, o homem por meio de suas ações vem desmatando encostas e matas ciliares, usando indevidamente os solos, diminuindo a quantidade e a qualidade da água.

No Município de Cerro Negro, não tem sido diferente. Nos últimos anos, fortes estiagens têm provocado a falta de água para as lavouras, animais e, inclusive, para o abastecimento e consumo humano.

Pensando no enfrentamento dessas dificuldades, várias ações que visem enfrentar e amenizar o problema de falta de água, em especial para o consumo humano e dos animais, têm sido realizadas. Dentre essas ações, a construção do sistema de proteção de fontes modelo Caxambu.

Entre os anos de 2021 e 2023, a equipe técnica da Secretaria Municipal de Agricultura do Município de Cerro Negro/SC, em parceria com o escritório municipal da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri, desenvolveu o “Programa Água Boa”. O programa teve como objetivo a construção e implantação do modelo Caxambu de proteção de fontes.

Desenvolvido pela Epagri no final da década de 1980, o modelo tem como principais fundamentos e objetivos, a melhoria na qualidade física da água, o isolamento da nascente ao acesso de animais, preservação ambiental, e impedir a entrada de objetos e resíduos sólidos, como restos de plantas, embalagens e solo proveniente de erosão.

Ao longo dos três anos, foram instaladas 60 (sessenta) unidades, em diversas localidades do município, contemplando, assim, grande diversidade de relevos e condições geológicas. Das sessenta unidades construídas, Mota, Machado e Oliveira (2023), selecionaram e analisaram 05 (cinco) unidades. Foram avaliados os seguintes parâmetros de potabilidade da água: cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos, potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), cloro livre e coliformes.

Além disso, os autores realizaram a avaliação em dois momentos: pelo menos 30 dias após a proteção da fonte e novamente, após 50 dias da implantação. Observa-se que não foi realizada a amostragem antes da implantação. A metodologia utilizada baseou-se no SMEWW - *Standard Methods for the Examination of Wastewater* (APHA, 2012).

Os parâmetros analisados, serviram para determinação da potabilidade da água, coletada nessas fontes, levando em consideração, os valores de referência estabelecidos pela legislação em vigor, constantes na portaria GM/MS Nº 888, de quatro de maio de 2021, do Ministério da Saúde.

Ao concluírem o estudo, Mota, Machado e Oliveira (2023), observaram que, naquele momento e dadas as condições encontradas, a instalação do modelo Caxambu, permitiu mudanças imediatas, sobretudo no isolamento das fontes contra o acesso de animais e materiais orgânicos. Entretanto, a condição de potabilidade da água permaneceu inadequada, sendo necessário, para o consumo humano, tratamento complementar por fervura ou cloração.

Apesar de ter mencionado, na análise dos resultados, a alteração de valores para os parâmetros analisados individualmente para cada amostra coletada, aos 30 e aos 50 dias após a implantação, os autores não apresentaram, entre as conclusões, a ocorrência ou não de melhoria na condição de potabilidade, evidenciando a melhora ou não de cada parâmetro analisado.

Diante desse contexto, o presente trabalho pretende reavaliar 03 (três) das 05 (cinco) unidades analisadas por Mota, Machado e Oliveira, utilizando os mesmos parâmetros e metodologia de análise da água, após dois anos da implantação do modelo Caxambu. Busca-se, assim, verificar se houve ou não melhoria na condição de potabilidade da água das fontes analisadas.

1.1 Objetivos

A definição clara dos objetivos é fundamental para orientar o desenvolvimento da pesquisa, delimitando seu foco e estabelecendo os resultados a serem alcançados. Assim, este trabalho apresenta um objetivo geral e objetivos específicos que buscam avaliar, de forma sistemática, a qualidade da água de fontes protegidas pelo modelo Caxambu, implantadas no Município de Cerro Negro/SC.

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade da água proveniente de três proteções de fonte modelo Caxambu, implantadas no Município de Cerro Negro/SC em 2022.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a qualidade da água após três (03) anos da implantação das unidades, comparando com os resultados obtidos por Mota, Machado e Oliveira em 2022;
- Comparar dados primários e secundários de amostragem de água;
- Determinar a necessidade de medidas complementares de tratamento para fins de potabilidade;
- Realizar revisão bibliográfica referente à proteção de fonte modelo Caxambu; e
- Revisitar a legislação específica.

1.1.3 Justificativa

Dados coletados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, indicam que, “em 2020, cerca de 175,5 milhões de pessoas no Brasil são atendidas por um sistema de abastecimento de água completo ou simplificado, o que corresponde ao índice de atendimento de 84,2% da população total residente” (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021, p. 52).

Mais recentemente, levantamento realizado pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento - Sinisa, (antigo SNIS), e publicado recentemente (2025) no Relatório dos Serviços de Abastecimento de Água Sinisa 2024, ano de referência 2023, demonstrou que, 83,1% (167,6 milhões de habitantes) da população total é atendida com rede de abastecimento de água, 93,3% (160,4 milhões de habitantes) da população urbana é atendida com rede de abastecimento de água, e, somente 24,2% (7,2 milhões de habitantes) da população rural é atendida com rede de abastecimento de água.

Com base nos dados apresentados, e, considerando o baixo percentual da população rural atendida pelos sistemas de abastecimento de água, que se faz

necessário o desenvolvimento e implantação de alternativas viáveis para suprir a necessidade de fornecimento de água com qualidade e constância no meio rural, em especial, em comunidades e unidades domiciliares isoladas. Neste sentido, o modelo Caxambu de proteção de fonte, apresenta-se como alternativa para o fornecimento de água, para unidades e comunidades rurais.

O município de Cerro Negro, localizado na região serrana de Santa Catarina, possui aproximadamente 3.317 habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). De acordo com informações disponibilizadas pelo Tribunal de Contas do Estado de Santa Catarina (TCE/SC), em 2023 apenas 40,69% da população cerronegrense tinha acesso ao fornecimento de água potável. Ou seja, 59,31% da população ainda se encontrava desassistida em relação ao acesso à água potável.

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe analisar o potencial de melhoria da qualidade da água destinada ao consumo humano por meio da adoção do modelo Caxambu, considerando sua aplicabilidade e impacto no contexto rural de Cerro Negro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica constitui etapa fundamental de qualquer pesquisa científica, pois possibilita a compreensão sobre o tema investigado, bem como a identificação de lacunas de conhecimento que justificam a realização do estudo (Amaral, 2007). É por meio dela que se contextualiza o problema de pesquisa, se identificam os principais marcos normativos e se apresentam dados e teorias relevantes que sustentam e justificam o desenvolvimento da investigação ou propósitos.

Neste capítulo, serão abordados os principais conceitos, legislações e experiências relacionadas ao saneamento básico no Brasil, e o modelo Caxambu de proteção de fontes, além de outros aspectos pertinentes à qualidade da água destinada ao consumo humano.

2.1 Saneamento Básico no Brasil

De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional (2021, p. 16), “A palavra saneamento vem do verbo sanear que significa tornar higiênico, remediar, tornar habitável”. Do mesmo modo, “As ações de saneamento buscam manter o meio ambiente em condições adequadas, de modo que possam promover o bem-estar do ser humano e garantir interferências mínimas em sua saúde.”

No Brasil, o saneamento básico está definido na Lei 11.445/2007. Compreende quatro serviços básicos, sendo eles; a) o abastecimento de água potável: constituído de toda a infraestrutura, desde a captação até as ligações prediais e residenciais; b) o esgotamento sanitário: constituído de toda a infraestrutura necessária para coleta, transporte, tratamento e disposição final adequada de esgotos sanitários; c) a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: composta de estruturas para coleta, varrição manual e mecanizada, conservação urbana, além de transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos domiciliares e de limpeza urbana; e, d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: composta por instalações e infraestrutura destinada ao manejo das águas da chuva, transporte, detenção ou retenção para amortecimento de vazões de cheias, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (Brasil, 2020).

A promulgação da lei do saneamento básico em 2007, trouxe, além da definição de saneamento básico e das atividades que compõem o sistema, a obrigatoriedade da universalização do acesso e fornecimento do sistema. No mesmo sentido, deve ser articulado com “[...] toda política pública que tem como objetivo a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, sejam políticas de promoção da saúde e de proteção ambiental, de moradia, de combate à pobreza, de recursos hídricos, de desenvolvimento urbano e regional, [...]” (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021, p. 16).

Posteriormente, com a edição da Lei Federal 14.026/2020, foram introduzidos importantes atualizações ao marco legal do saneamento. Entre as mudanças, destaca-se a obrigatoriedade de que os contratos de prestação de serviços estabeleçam metas de universalização que assegurem, até 31 de dezembro de 2033, o atendimento de 99% da população com água potável e de 90% com coleta e tratamento de esgoto (Brasil, 2020).

Esses avanços legais demonstram o esforço normativo em promover a ampliação da cobertura dos serviços básicos no país. No entanto, apesar das metas estabelecidas, o desafio permanece maior no meio rural, onde os índices de acesso à água tratada ainda são bastante reduzidos, demandando soluções alternativas e complementares para atender comunidades dispersas. É nesse contexto que se insere a discussão sobre o abastecimento de água no meio rural, tema do próximo item.

2.2 Abastecimento de Água no Meio Rural

O abastecimento de água no meio rural constitui um dos principais desafios para a efetivação da política nacional de saneamento básico. Embora os marcos legais estabeleçam metas de universalização, os indicadores mostram uma significativa desigualdade entre áreas urbanas e rurais. De acordo com o Relatório dos Serviços de Abastecimento de Água – Sinisa 2024, ano de referência 2023, apenas 24,2% da população rural brasileira é atendida por rede de abastecimento de água, enquanto o índice urbano alcança 93,3% (Ministério das Cidades, 2025).

A baixa cobertura dos serviços no campo deve-se a diversos fatores, entre os quais se destacam a dispersão geográfica da população, os altos custos de implantação de infraestrutura convencional, a baixa capacidade de investimento municipal e, em muitos casos, a ausência de políticas públicas específicas para áreas rurais. Dessa forma, grande parte da população depende de soluções alternativas, como captação direta de nascentes, poços artesianos, cisternas ou sistemas simplificados de abastecimento, muitas vezes sem qualquer tipo de controle de qualidade da água (Castro e Cerezine, 2023).

Nesse cenário, a busca por tecnologias sociais acessíveis e sustentáveis tem se mostrado uma alternativa viável para comunidades rurais. No Brasil, iniciativas como cisternas de placas no semiárido, sistemas de captação de água da chuva e modelos de proteção de fontes, a exemplo do sistema Caxambu, vêm sendo implementadas para suprir a carência de infraestrutura e garantir o acesso à água em qualidade e quantidade suficientes.

Assim, o abastecimento de água no meio rural deve ser compreendido não apenas como uma questão de infraestrutura, mas também como um desafio de

equidade social, saúde pública e sustentabilidade ambiental (Castro e Cerezine, 2023).

Nesse contexto, tecnologias como o modelo Caxambu assumem papel de destaque, pois oferecem uma solução de baixo custo, adaptada às condições locais e capaz de contribuir significativamente para a melhoria da qualidade da água (Weber, et al. 2022). O próximo tópico aborda, especificamente, os conceitos e características desse modelo de proteção de fontes, como alternativa para abastecimento de água no meio rural.

2.3 Sistema Caxambu como Alternativa para Abastecimento de Água no Meio Rural

O modelo Caxambu consiste em um sistema de proteção e melhoria de fontes de água provenientes de nascentes. A água obtida por esse método pode ser destinada a diversos usos, como irrigação, dessedentação animal, limpeza de instalações e ambientes, além do consumo humano, sobretudo em localidades isoladas que não dispõem de acesso a sistemas públicos ou privados de abastecimento de água potável.

De acordo com a Epagri (2020),

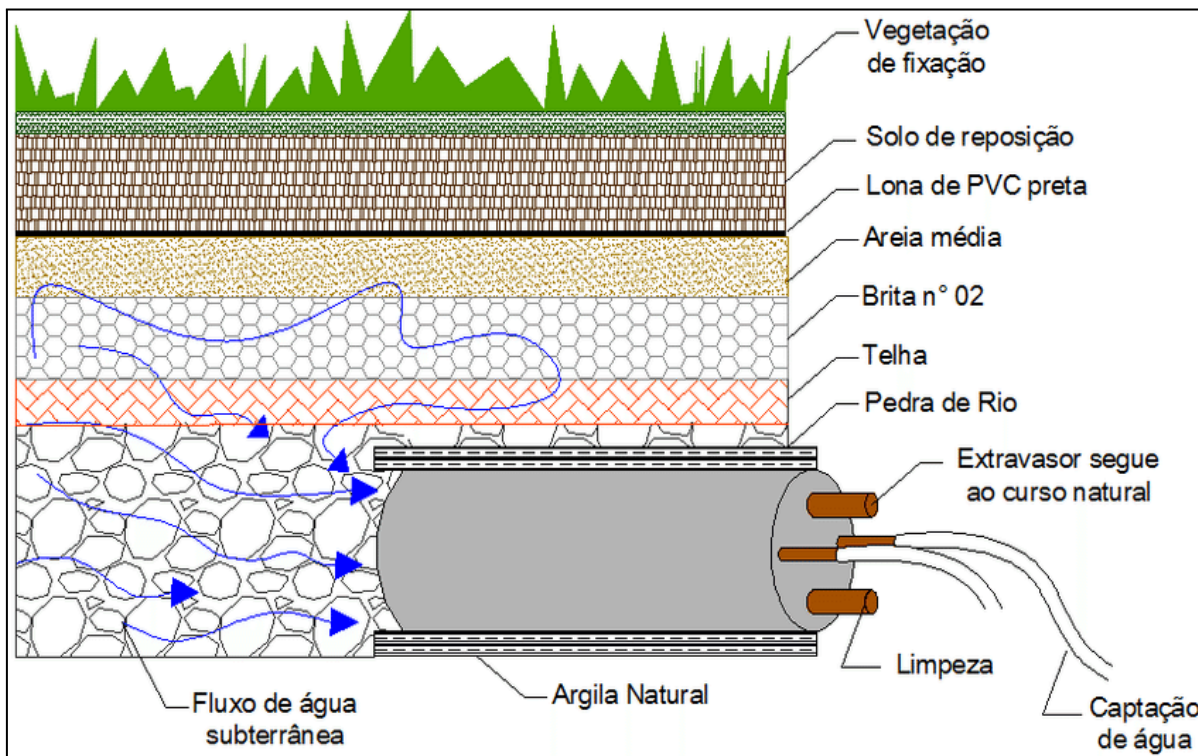
A proteção de fonte modelo Caxambu surgiu no final da década de 1980 no município de Caxambu do Sul. Foi um trabalho conjunto entre extensionistas da Epagri, o geólogo Mariano José Smaniotto, a prefeitura local e agricultores. Além da colocação ordenada dos materiais na fonte previamente limpa, o modelo tem como importante diferencial a proteção do entorno, que deve ser isolado com cerca e mantido com vegetação para garantir a qualidade da água captada.

A instalação do sistema envolve a construção de uma estrutura física ao redor da nascente, utilizando materiais como solo, pedras e tubos de Poli Cloreto de Vinila (PVC), com o objetivo de evitar a entrada de agentes contaminantes e garantir o acesso para manutenção e limpeza periódica.

Trata-se de um tubo de concreto de 20 cm de diâmetro, contendo quatro saídas, duas constituídas de dois tubos de PVC de 25 mm, (ou mais, conforme a necessidade) por 30cm de comprimento, que serão as duas saídas da água e, outras duas formadas por dois tubos de PVC de 40 mm x 30 cm de comprimento, um tubo para limpeza da estrutura e outro para "ladrão" (Calheiros et al (2004, p.41).

Na Figura 1 pode-se observar o esquema para a instalação de uma fonte no modelo Caxambu.

Figura 1. Esquema de instalação de fonte modelo Caxambu.



Fonte: Calheiros et al (2004, p.43).

Ao avaliar fontes com e sem proteção do tipo Caxambu, Dallazem e Suntti (2016, p. 11), concluíram que, “[...] as fontes tanto com proteção sistema Caxambu e sem proteção apresentaram-se contaminadas por coliformes totais (100%), 81% das fontes estavam contaminadas por coliformes fecais.” Neste sentido, a implantação do sistema Caxambu não foi suficiente para elevar a qualidade da água, para que ela fosse potável, de acordo com os padrões vigentes na Portaria n° 2.914 do Ministério da Saúde (Dallazem e Suntti, 2016).

Por outro lado, ao comparar os dados obtidos nas fontes com proteção do sistema Caxambu e sem proteção, observou-se que a quantidade de contaminação por 100 ml é menor, tanto para coliformes totais quanto para coliformes fecais, nas fontes com proteção do sistema caxambu (Dallazem e Suntti, 2016).

Portanto, embora o sistema Caxambu não substitua totalmente os sistemas convencionais de tratamento e distribuição de água, representa uma alternativa para fornecimento de água para consumo humano, especialmente em regiões remotas,

comunidades rurais e propriedades isoladas, onde a extensão da rede pública é economicamente inviável ou tecnicamente impraticável.

2.4 Impacto do Sistema Caxambu na qualidade da Água

A implantação do sistema Caxambu tem se mostrado uma alternativa relevante para a melhoria da qualidade da água em comunidades rurais. Embora não represente solução definitiva para garantir a potabilidade da água, o sistema contribui para reduzir os níveis de contaminação e aumentar a segurança hídrica de populações sem acesso a sistemas públicos de abastecimento.

Estudos realizados pela Epagri (2020) reforçam essa conclusão ao destacar que a proteção física do entorno da nascente - com cercamento e manutenção da vegetação - é fundamental para evitar o acesso de animais e a infiltração de materiais orgânicos no ponto de captação. Dessa forma, o sistema Caxambu atua como medida preventiva, reduzindo a carga de contaminantes que chegam até a água coletada.

No entanto, cabe destacar que a implantação do sistema não garante, por si só, a potabilidade da água, visto que parâmetros como coliformes, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio frequentemente permanecem acima dos limites estabelecidos pela legislação em vigor, atualmente representada pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Para consumo humano, recomenda-se a adoção de medidas complementares, como fervura, cloração ou sistemas simplificados de filtração, a fim de assegurar a conformidade com os padrões legais de potabilidade.

Portanto, o impacto do sistema Caxambu deve ser compreendido como parcial, mas significativo: ainda que não elimine completamente os riscos à saúde, reduz a vulnerabilidade das comunidades rurais ao oferecer água de qualidade superior àquela captada diretamente de fontes expostas. Além disso, o sistema apresenta baixo custo, fácil implantação e manutenção, características que reforçam sua aplicabilidade em regiões de difícil acesso e com restrições orçamentárias (Epagri, 2020).

Diante disso, evidencia-se que o sistema Caxambu constitui uma alternativa eficaz de manejo e proteção de recursos hídricos no meio rural. Contudo, para assegurar água em condições plenas de potabilidade, sua utilização deve ser acompanhada por ações de educação sanitária, monitoramento da qualidade da

água e complementação com métodos de tratamento domiciliar.

Porém toda intervenção ambiental, realizada por meio de ação humana, em nascentes, deve ser pautada pela legalidade, ou seja, deve se observar a legislação em vigência relacionada à temática. Deste modo, o próximo tópico deste trabalho busca evidenciar a legislação aplicável.

2.5 Legislação e Parâmetros de Potabilidade da Água

A proteção das nascentes e o controle da qualidade da água para o consumo humano dependem de um conjunto de normas ambientais e sanitárias que atuam de forma complementar. Enquanto a legislação ambiental estabelece diretrizes para resguardar os recursos hídricos e seu entorno, as normas de saúde pública definem os padrões mínimos de potabilidade e os procedimentos de monitoramento da água distribuída à população.

Compreender essas normas legais é fundamental para orientar ações de preservação ambiental, assim como para compreender e monitorar a qualidade e potabilidade da água. A seguir, são apresentadas as principais regulamentações que embasam parâmetros relacionados à proteção de nascentes e à potabilidade da água.

2.5.1 A legislação ambiental e as nascentes

Em 2012, após um longo período de debates, foi sancionada a Lei nº 12.651/2012, conhecida como Novo Código Florestal Brasileiro. Essa legislação representou um marco importante para a gestão ambiental no país, pois trouxe mudanças significativas não apenas na proteção da vegetação nativa, mas também nas normas que regulamentam a preservação dos recursos hídricos, como as nascentes.

No mesmo sentido, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece normas, definições e parâmetros de potabilidade da água, além da metodologia e frequência de análise para consumo humano, reforçando a importância da proteção dos mananciais para garantir o abastecimento de água de qualidade.

A Lei nº 12.651/2012 define como Área de Preservação Permanente (APP) a:

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012).

Entre as APPs, incluem-se “as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros” (Brasil, 2012). A legislação também define nascente como “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água” (Brasil, 2012).

A proteção dessas áreas tem como finalidade assegurar a integridade dos ecossistemas hídricos, garantir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas e prevenir a degradação ambiental decorrente de ações antrópicas. Assim, qualquer intervenção realizada em nascentes deve observar rigorosamente as normas ambientais, assegurando a manutenção da vegetação nativa e o isolamento físico da área, contribuindo diretamente para a qualidade da água captada para o consumo humano.

A legislação prevê, ainda, que a “intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente [...] nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental [...]” (Brasil, 2012). Nesse contexto, a Resolução Consema nº 128/2019, alterada pela Resolução Consema nº 192/2022, reconhece, em seu Anexo Único, determinadas atividades como eventuais e de baixo impacto ambiental;

A implantação de proteção de fonte de água, visando o abastecimento da propriedade, conforme modelos técnicos elaborados pela EPAGRI com a denominação Modelo Caxambu com Tubo Horizontal, Modelo Caxambu Horizontal com Tubo de PVC, Modelo Caxambu com Tubo Vertical e Modelo Botuverá, desde que atendam aos seguintes critérios: (Conselho Estadual do Meio Ambiente, 2019).

Tais intervenções devem ser executadas mediante critérios técnicos e observando a manutenção da cobertura vegetal nativa, garantindo assim a preservação das funções ecológicas da APP. Em alguns casos, é necessário a prévia apresentação de projeto técnico e autorização junto ao órgão ambiental competente, para a realização desta intervenção.

Além disso, o § 6º do art. 4º da Lei nº 12.651/2012 reforça a possibilidade de compatibilizar a conservação ambiental com atividades produtivas sustentáveis:

Nos imóveis rurais com até 15 (quinze) módulos fiscais, é admitida, nas áreas de que tratam os incisos I e II do caput deste artigo, a prática da aquicultura e a infraestrutura física diretamente a ela associada, desde que:

- I – sejam adotadas práticas sustentáveis de manejo de solo e água e de recursos hídricos, garantindo sua qualidade e quantidade, de acordo com norma dos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente;
- II – esteja de acordo com os respectivos planos de bacia ou planos de gestão de recursos hídricos;
- III – seja realizado o licenciamento pelo órgão ambiental competente;
- IV – o imóvel esteja inscrito no Cadastro Ambiental Rural (CAR);
- V – não implique novas supressões de vegetação nativa” (Brasil, 2012).

Essa previsão permite o desenvolvimento de atividades produtivas em pequenas propriedades rurais, desde que conduzidas de forma sustentável, com o devido licenciamento ambiental e respeito às áreas protegidas. Essa abordagem representa um avanço no sentido de conciliar a conservação dos recursos hídricos com práticas de uso racional da água e do solo, promovendo o desenvolvimento rural sustentável.

Em complemento, os parâmetros de potabilidade definidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelecem limites e padrões que asseguram a qualidade da água para consumo humano, reforçando a importância da preservação das áreas de nascentes como etapa essencial para garantir a segurança hídrica e a saúde pública, parâmetros estes abordados no tópico a seguir.

2.5.2 Os parâmetros de potabilidade da água

Os parâmetros de potabilidade da água destinada ao consumo humano são estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde. Essa norma estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água e fixa padrões físicos, químicos, microbiológicos e organolépticos que devem ser obrigatoriamente atendidos pelos responsáveis pelos sistemas e soluções alternativas de abastecimento de água.

A legislação define limites máximos permitidos para parâmetros como turbidez, cor aparente, pH, coliformes totais, *Escherichia coli*, metais, compostos orgânicos, entre outros, com o objetivo de proteger a saúde pública e garantir a segurança sanitária da água distribuída à população. Além disso, estabelece deveres aos gestores públicos e privados para assegurar o monitoramento contínuo, a correção de eventuais não conformidades e a comunicação adequada aos órgãos

de vigilância sanitária.

Para a adequada compreensão e aplicação dos parâmetros de potabilidade, a Portaria GM/MS nº 888/2021 traz algumas definições importantes em seu art. 5º:

V - sistema de abastecimento de água para consumo humano (SAA): instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição;

VI - solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano (SAC): modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, sem rede de distribuição;

VII - solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano (SAI): modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares; (Ministério da Saúde, 2021).

O quadro 1, apresenta os padrões bacteriológicos de potabilidade da água, que têm como indicadores principais a presença de *Escherichia coli* e coliformes totais. A ausência desses microrganismos é um requisito essencial para garantir a segurança sanitária da água distribuída.

Quadro 1 – Padrão bacteriológico da água para consumo humano.

Formas de abastecimento		Parâmetro		VMP(¹)
SAI		Escherichia coli ⁽²⁾		Ausência em 100 ml
SAA e SAC	Na saída do tratamento	Coliformes totais ⁽³⁾		Ausência em 100 ml
	Sistema de distribuição e pontos de consumo	Escherichia coli ⁽²⁾		Ausência em 100 ml
		Coliformes totais ⁽⁴⁾	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, poderá apresentar resultado positivo
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes	Ausência em 100 ml em 95% das amostras examinadas no mês pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água.

Fonte: adaptado da Portaria GM/MS nº 888/2021.

NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido

(2) Indicador de contaminação fecal.

(3) Indicador de eficiência de tratamento.

(4) Indicador da condição de operação e manutenção do sistema de distribuição de SAA e pontos de consumo e reservatório de SAC em que a qualidade da água produzida pelos processos de tratamento seja preservada (indicador de integridade).

A presença de *Escherichia coli* é um indicador direto de contaminação fecal, representando um risco potencial à saúde pública.

O quadro 2 apresenta os padrões recomendados de turbidez da água para consumo humano. A turbidez é um parâmetro físico relacionado à presença de partículas em suspensão na água. Seu controle é essencial para garantir a eficiência da desinfecção e prevenir a proteção de microrganismos patogênicos (Brasil, 2006; Ministério da Saúde, 2021).

Quadro 2 – Padrão de turbidez para água pós-desinfecção (para águas subterrâneas) ou pós-filtração.

Tratamento da água¹	VMP⁽¹⁾	Número de amostras	Frequência
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT ⁽²⁾ em 95% das amostras. 1,0 uT no restante das amostras mensais coletadas.	1	A cada 2 horas
Filtração em Membrana	0,1 uT ⁽²⁾ em 99% das amostras.	1	A cada 2 horas
Filtração lenta	1,0 uT ⁽²⁾ em 95% das amostras. 2,0 uT no restante das amostras mensais coletadas.	1	Diária
Pós-desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT ⁽²⁾ em 95% das amostras. 5,0 uT no restante das amostras mensais coletadas.	1	Semanal

Fonte: adaptado da Portaria GM/MS nº 888/2021.

NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido

(2) Unidade de Turbidez

¹ Padrão utilizado em sistemas de tratamento de água para consumo humano, especialmente em Estações de Tratamento de Água (ETAs).

A tabela 1, dispõe sobre os parâmetros organolépticos de potabilidade da água. Esses parâmetros, dizem respeito às características perceptíveis como gosto, odor, cor e aparência. Já os parâmetros físicos e químicos abrangem compostos minerais e substâncias químicas naturais ou artificiais que, em concentrações elevadas, podem comprometer a potabilidade.

Tabela 1 – Padrão organoléptico de potabilidade.

Parâmetro	Unidade	VMP⁽¹⁾
Cor Aparente ⁽²⁾	uH	15
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500
Turbidez ⁽³⁾	uT	5

Fonte: adaptado da Portaria GM/MS nº 888/2021.

NOTAS:

- (1) Valor máximo permitido.
- (2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L).
- (3) Unidade de turbidez.

A qualidade da água destinada ao consumo humano é intrinsecamente ligada à qualidade ambiental do manancial de captação. Nesse contexto, a Resolução Conama nº 357/2005 estabelece a classificação dos corpos de água em treze classes, definindo as condições e padrões de qualidade que devem ser alcançados ou mantidos para assegurar seus usos preponderantes (Conama, 2005).

Ainda segundo a Resolução, as classes, de água doce, que podem ser destinadas ao consumo humano são; a) classe especial: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) classe 1: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; c) classe 2: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, e; d) classe 3: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado.

A Resolução fixa limites de DBO de acordo com a classe de enquadramento da água doce, sendo que a classe especial não apresenta padrão máximo permitido, já a classe 1, apresenta limite máximo de até 3 mg/L O₂ (DBO 5 dias a 20° C), a classe 2, até 5 mg/L O₂ e para a classe 3, o valor é de até 10 mg/L O₂ (Conama,

2005).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), é um dos principais parâmetros de qualidade da água. Esse parâmetro mede a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos na degradação da matéria orgânica biodegradável. É um indicador direto da poluição orgânica em corpos de água (Valente, Padilha e Silva, 1997).

Por outro lado, enquanto a DBO mede a demanda de oxigênio para a degradação biológica, a DQO (Demanda Química de Oxigênio), mede a demanda de oxigênio para a degradação química, ou seja, a quantidade de oxigênio necessária para oxidar toda a matéria orgânica e inorgânica presente na amostra, usando um agente químico forte (geralmente dicromato de potássio), Valente, Padilha e Silva, (1997). Neste sentido, o monitoramento de parâmetros como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é fundamental para a gestão da qualidade ambiental, indicando a presença de matéria orgânica (poluição) na água.

A observância desses parâmetros é essencial para assegurar que a água fornecida às populações rurais e urbanas esteja em conformidade com os padrões legais de potabilidade, evitando riscos sanitários e garantindo o direito constitucional ao acesso à água de qualidade.

Além disso, o controle da qualidade da água tem papel estratégico na prevenção de doenças de veiculação hídrica, na promoção da saúde coletiva e na proteção dos mananciais de abastecimento.

A seção, a seguir, trata da metodologia pela qual este trabalho foi desenvolvido.

3 METODOLOGIA

A pesquisa científica é definida por Prodanov e Freitas (2013, p.48), como “uma atividade humana, cujo objetivo é conhecer e explicar os fenômenos, fornecendo respostas às questões significativas para a compreensão da natureza”.

Quanto à classificação metodológica, a presente pesquisa, caracteriza-se, do ponto de vista da natureza, como uma pesquisa aplicada, que segundo Prodanov e

Freitas (2013, p. 51), Gerhardt e Silveira (2009, p. 37), “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”.

Sob o ponto de vista dos objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória e descritiva. Além disso, caracteriza-se como uma pesquisa baseada em estudo de caso, do tipo multicaso, com abordagem quantitativa e qualitativa.

Em relação aos procedimentos técnicos, o estudo fundamenta-se, em pesquisa bibliográfica (dados secundários), e é complementado por elementos oriundos de pesquisa de campo (dados primários). Segundo, Prodanov e Freitas (2013, p. 60), o “estudo de caso consiste em coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, uma família, um grupo ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida, de acordo com o assunto da pesquisa.”

A pesquisa bibliográfica, em sintonia com Prodanov e Freitas (2013, p. 54), é aquela;

[...] elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa.

Já a pesquisa de campo é definida pelos mesmos autores (2013, p. 59) como “[...] aquela utilizada com o objetivo de conseguir informações [...] acerca de um problema para o qual procuramos uma resposta, ou de uma hipótese, que queiramos comprovar, [...]” e “consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que presumimos relevantes, para analisá-los”.

Quanto à abordagem do problema, a pesquisa é mista, pois integra técnicas qualitativas e quantitativas, em função das necessidades que o estudo exige.

Prodanov e Freitas (2013, p. 70), definem a abordagem qualitativa, sendo aquela em que o ambiente é a fonte direta dos dados. No mesmo sentido, o “pesquisador mantém contato direto com o ambiente e o objeto de estudo em questão, necessitando de um trabalho mais intensivo de campo”.

Com relação à abordagem quantitativa, esta pode ser entendida como aquela, que, na visão de Prodanov e Freitas (2013, p. 69), “considera que tudo pode

ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las”.

Neste sentido, tanto a abordagem qualitativa, como a quantitativa estão interligadas e complementam-se, proporcionando maior qualidade na análise das informações.

A coleta de dados para execução da pesquisa, de acordo com os dos objetivos, ocorreu em duas frentes:

1 - Dados secundários: foram analisados os dados coletados e apresentados por Mota, Machado e Oliveira (2023), além de dados publicados em outras fontes bibliográficas.

2 - Dados primários: foram realizadas novas coletas de água nas três fontes selecionadas.

Para o cumprimento dos objetivos propostos neste estudo, os dados primários encontrados e analisados seguiram rigorosamente a metodologia descrita por Mota, Machado e Oliveira (2023), adotando-se os mesmos parâmetros de avaliação da qualidade da água: cor, turbidez, sólidos totais distribuídos, potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de toxicidade (DBO), demanda de química (DQO), cloro livre e coliformes. Esse alinhamento metodológico visa garantir a comparabilidade dos resultados e a consistência das análises ao longo do período.

Os resultados obtidos nas análises laboratoriais foram posteriormente submetidos a uma avaliação comparativa, com o objetivo de determinar possíveis melhorias na qualidade da água ao longo do tempo ou, eventualmente, refutar essa possibilidade. Essa análise comparativa permitiu identificar variações específicas nos parâmetros físicos, químicos, organolépticos e microbiológicos, possibilitando uma discussão mais aprofundada sobre a efetividade do sistema.

Para a realização desta etapa, utilizou-se a plataforma de inteligência artificial *NotebookLM*, como ferramenta de análise, sendo realizado posteriormente ajustes manuais e verificação de conformidade. Para que a ferramenta realizasse a análise, foi fornecido os dados obtidos das análises realizadas em laboratório e a inserção do seguinte comando: “Análise os dados apresentados, e em seguida realize uma análise descritiva e detalhada, de forma individualizada de cada uma das três fontes”.

3.1 Local de Estudo

A localização do município de Cerro Negro dentro do Estado de Santa Catarina e a descrição das fontes selecionadas permitem compreender o contexto geográfico, topográfico e ambiental no qual o modelo Caxambu foi implantado. Essa contextualização é fundamental, uma vez que fatores como altitude, proximidade de construções e características do entorno podem influenciar diretamente a qualidade da água captada.

Assim, o estudo foi realizado em Cerro Negro, município brasileiro localizado no Planalto Sul do Estado de Santa Catarina. Cerro Negro, conta hoje com uma população de aproximadamente 3.317 habitantes, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, (2022). Na Figura 2 pode-se visualizar a localização do município no mapa do estado de Santa Catarina.

Figura 2 – Localização do Município de Cerro Negro em Santa Catarina.



Fonte: Abreu, 2006.

A instalação do modelo Caxambu ocorreu nos dias 19, 20 e 26 de outubro de 2022, em três diferentes propriedades rurais do município, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Localização georreferenciada das fontes protegidas pelo modelo Caxambu no Município de Cerro Negro/SC.

Fonte	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Comunidade
01	27°39' 34.3"	50° 55'04.1"	774	Umbu
02	27 °37'06.5"	50°55'31.2"	893	São José
03	27°35'16.06"	50° 54'28.36"	723	Raitz

Fonte: Mota, Machado e Oliveira, 2023.

Dessa forma, a próxima seção detalha a caracterização individual de cada fonte, considerando aspectos físicos, ambientais e de preservação, de modo a fornecer informações essenciais para a análise da eficácia do sistema Caxambu na proteção e melhoria da água para consumo humano.

3.2 Caracterização das fontes

Para analisar o impacto do modelo Caxambu na qualidade da água, é essencial conhecer detalhadamente as características de cada fonte selecionada. Nesta seção, serão descritos aspectos como localização geográfica, altitude, faixa de preservação ambiental, proximidade de construções e potenciais fontes de contaminação.

A descrição individual de cada fonte permitirá compreender as condições ambientais e estruturais que podem influenciar a potabilidade da água. Serão apresentadas três fontes, identificadas como Fonte 01, Fonte 02 e Fonte 03, localizadas em diferentes comunidades rurais do município. Para cada uma delas, serão detalhados: o entorno da fonte, o grau de isolamento físico, a presença de vegetação de preservação, a proximidade de atividades humanas e agropecuárias, bem como outras características relevantes que possam interferir na qualidade da água.

Além disso, as figuras apresentam a disposição, em relação à fonte, dos elementos; a) residências; b) galpão de manejo de animais; c) depósito de insumos; d) declividade do terreno; e) os raios de preservação ambiental previsto na legislação, de 15m e de 50m. Essas informações permitem avaliar, ambientalmente, a eficácia do sistema Caxambu na proteção das fontes e na melhoria da qualidade da água destinada ao consumo humano.

3.2.1 Caracterização da fonte nº 01

A fonte nº 01, está localizada na Comunidade Umbu, a uma altitude de 774 metros em relação ao nível do mar. Ela possui uma faixa de preservação ambiental com mata ciliar de aproximadamente 10 a 15 metros de raio.

Entretanto, ela se encontra logo abaixo das estruturas de produção (galpão de animais) e residência da família, que propicia a contaminação da água por coliformes fecais oriundos de dejetos humanos e de animais. O estábulo dos animais se encontra a aproximadamente 30 metros de distância e a residência aproximadamente 70 a 80 metros acima da fonte.

A figura 3, expõe a fonte nº 01, antes da instalação do sistema, imediatamente após a instalação, e no atual estágio da proteção da fonte, expondo a estrutura de captação, limpeza, drenagem do excedente de água e a ligação para abastecimento da propriedade, também apresenta parcialmente o atual estágio de desenvolvimento e recuperação da vegetação nativa.

Figura 3 – Imagem da fonte nº 01, antes (esquerda), no ato (centro) e atualmente (direita).

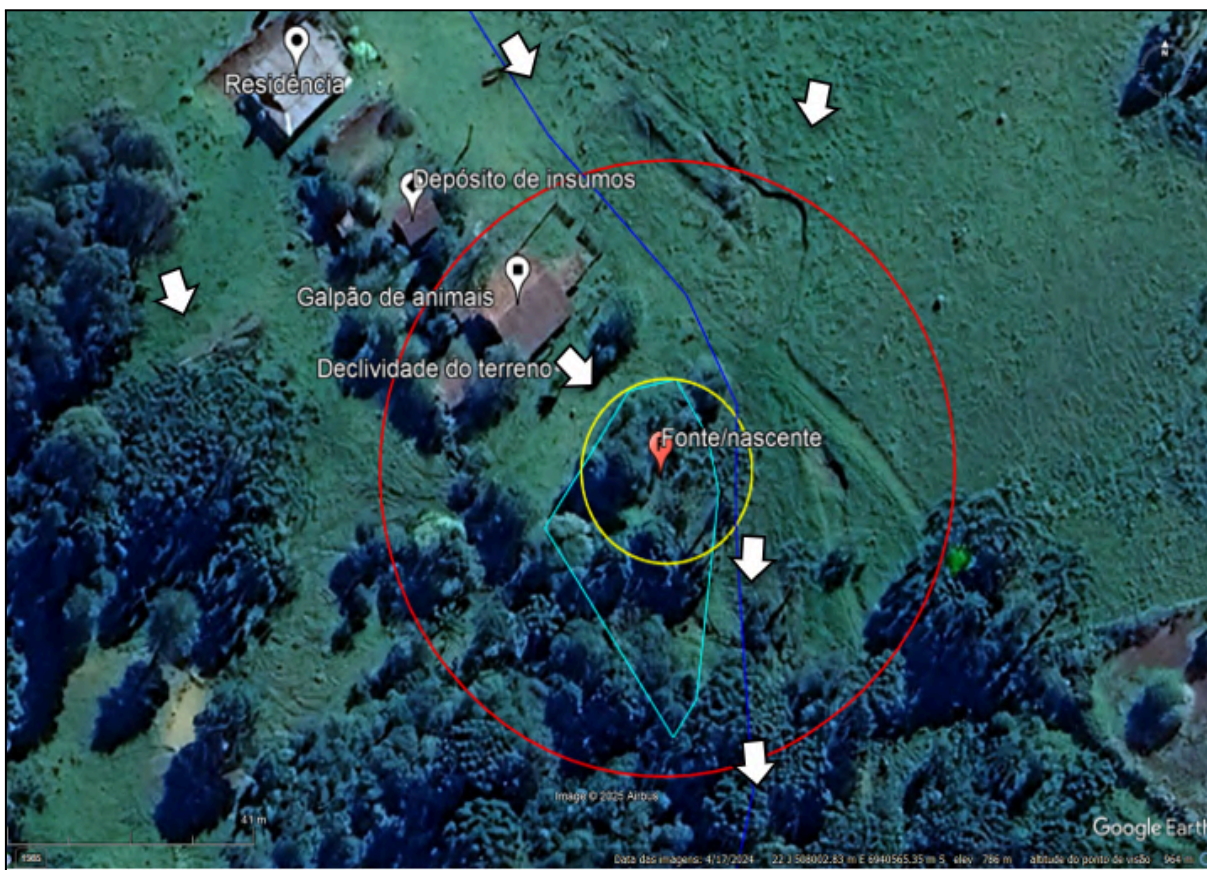


Fonte: adaptado de Mota, Machado e Oliveira (2023), e acervo do autor.

A figura 4 demonstra a localização da fonte em relação às estruturas e à preservação ambiental. A figura traz uma projeção aproximada do raio de preservação estipulado pelo Código Ambiental Brasileiro, Lei 12.651/2012, 50m, e

15m para pequena propriedade de até 4 módulos fiscais, já consolidada.

Figura 4 – Localização da fonte nº 01 em relação à declividade do terreno, residências e instalações, e projeção legalmente constituída da Área de Preservação Ambiental (APP), 15m e 50m.



Fonte: Google Earth (2024), adaptado pelo autor.

NOTAS:

- – Projeção da Área de Preservação Permanente (APP), num raio de 50m, conforme previsto na Lei 12.651/2012;
- – Projeção da Área de Preservação Permanente (APP), num raio de 15m, em áreas consolidadas até 22 de julho de 2008, conforme previsto na Lei 12.651/2012;
- – Isolamento instalado no entorno da nascente com moirões de madeira e arame farpado;
- – Caminho natural de escoamento da água de origem pluvial.

Essa proximidade das construções e da área de manejo de animais evidencia a importância do isolamento físico proporcionado pelo modelo Caxambu, que busca minimizar a entrada de contaminantes e preservar a qualidade da água.

3.2.2 Caracterização da fonte nº 02

A fonte nº 02, está localizada na Comunidade São José, a uma altitude de 893 metros em relação ao nível do mar. Ela possui uma faixa de preservação ambiental formada por área alagadiça abaixo (banhado) e floresta acima. Ela conta com uma pequena passagem de acesso à área de lavoura que fica aproximadamente 50 metros de distância, ou seja, fora do raio de preservação prevista pela legislação ambiental.

A figura 5, expõe a fonte nº 02, antes da instalação do sistema, imediatamente após a instalação, e no atual estágio da proteção da fonte, expondo a estrutura de captação, limpeza, drenagem do excedente de água e a ligação para abastecimento da propriedade, também apresenta parcialmente o atual estágio de desenvolvimento e recuperação da vegetação nativa.

Figura 5 – Imagem da fonte nº 02, antes (esquerda), no ato (centro) e atualmente (direita).



Fonte: adaptado de Mota, Machado e Oliveira (2023), e acervo do autor.

Essa fonte se encontra lateralmente distante das estruturas destinadas ao manejo de animais da residência da família. Desta forma, não há contaminação direta por dejetos de animais vindos destas estruturas. Por outro lado, o isolamento da área é mínimo, permitindo o acesso próximo de animais da fonte.

A figura 6, apresenta a localização da fonte em relação às estruturas e à

preservação ambiental. E, assim como a figura 2, traz uma projeção aproximada do raio de preservação estipulado pelo Código Ambiental Brasileiro, Lei 12.651/2012.

Figura 6 – Localização da fonte nº 02 em relação à declividade do terreno, estrada, residências e instalações, e projeção legalmente constituída da Área de Preservação Ambiental (APP), 15m e 50m.



Fonte: Google Earth (2024), adaptado pelo autor.

NOTAS:

- – Projeção da Área de Preservação Permanente (APP), num raio de 50m, conforme previsto na Lei 12.651/2012;
- – Projeção da Área de Preservação Permanente (APP), num raio de 15m, em áreas consolidadas até 22 de julho de 2008, conforme previsto na Lei 12.651/2012;
- – Isolamento instalado no entorno da nascente com moirões de madeira e arame farpado;
- – Caminho natural de escoamento da água de origem pluvial.

3.2.3 Caracterização da fonte nº 03

A fonte nº 03, se encontra localizada na Comunidade Raithz, a uma altitude de 723 metros em relação ao nível do mar. Também possui um pequeno raio com vegetação nativa em fase de recuperação inicial.

O isolamento do acesso dos animais de grande porte foi realizado, com instalação de cerca de arame farpado. Esse isolamento realizado por meio da instalação de cercas com mourões e arame farpado, é relativamente maior, quando comparado ao isolamento das demais fontes, porém, não significa que cumpre o isolamento de 50m previsto na legislação.

No entorno, há um campo que era destinado à produção agropecuária. Entretanto, recentemente esta área passou por um processo de supressão vegetal, que estava em estágio inicial de desenvolvimento, para implantação de reflorestamento comercial por meio da inserção de pinheiro da espécie *Pinus Spp.*

Existe na proximidade, estrada vicinal (15 m), e instalações civis como residências, manejo de animais e depósito de insumos. No entanto, a fonte encontra-se localizada em cota topográfica superior em relação às infraestruturas. A mesma situação ocorre em relação à residência do vizinho que fica em cota inferior à fonte.

A figura 7, expõe a fonte nº 03, antes da instalação do sistema, imediatamente após a instalação, e no atual estágio da proteção da fonte, expondo a estrutura de captação, limpeza, drenagem do excedente de água e a ligação para abastecimento da propriedade, também apresenta parcialmente o atual estágio de desenvolvimento e recuperação da vegetação nativa.

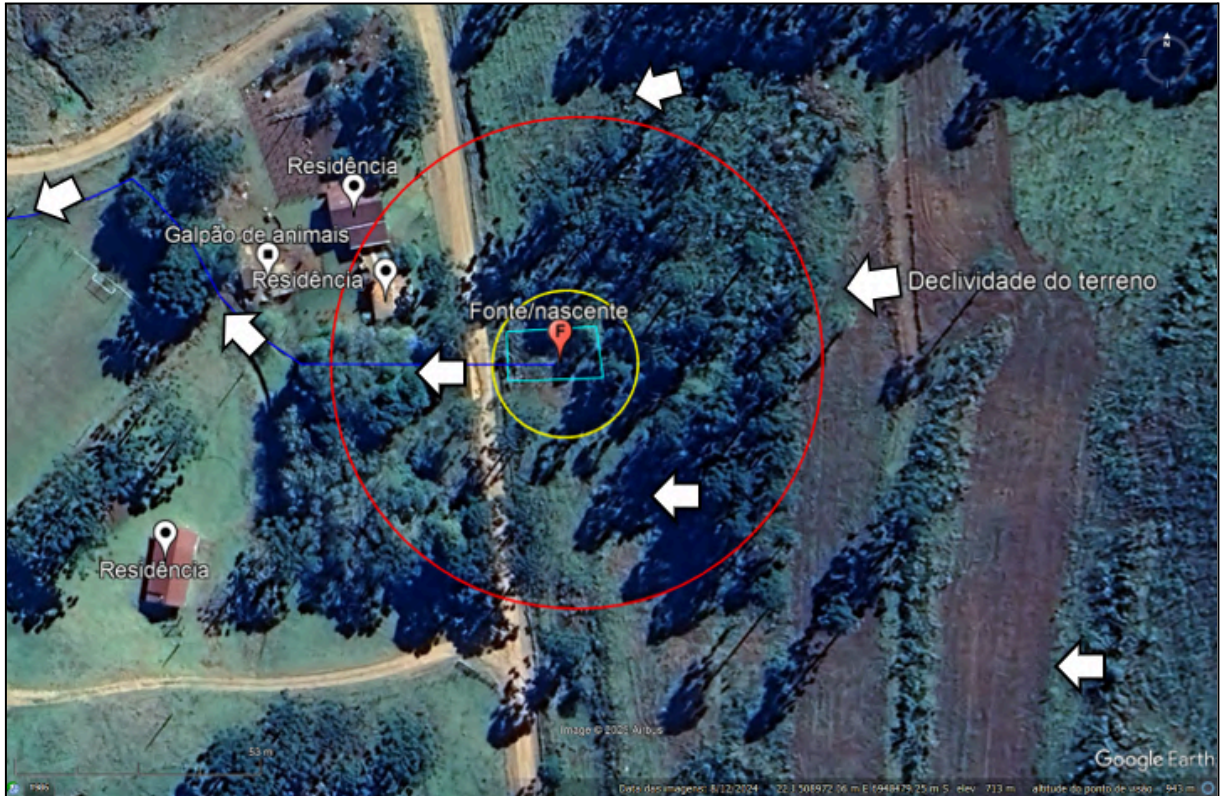
Figura 7 – Imagem da fonte nº 03, antes (esquerda), no ato (centro) e atualmente (direita).



Fonte: adaptado de Mota, Machado e Oliveira (2023), e acervo do autor.

A figura 8 apresenta a localização da fonte em relação à declividade do solo, estrada e construções antrópicas.

Figura 8 – Localização da fonte nº 03 em relação à declividade do terreno, estrada, residências e instalações, e projeção legalmente constituída da Área de Preservação Ambiental (APP), 15m e 50m.



Fonte: Google Earth (2024), adaptado pelo autor.

NOTAS:

- – Projeção da Área de Preservação Permanente (APP), num raio de 50m, conforme previsto na Lei 12.651/2012;
- – Projeção da Área de Preservação Permanente (APP), num raio de 15m, em áreas consolidadas até 22 de julho de 2008, conforme previsto na Lei 12.651/2012;
- – Isolamento instalado no entorno da nascente com moirões de madeira e arame farpado;
- – Caminho natural de escoamento da água de origem pluvial.

A fonte nº 03 possui a menor probabilidade de contaminação por coliformes em relação às demais, fato este, comprovado pelo isolamento físico instalado no seu entorno e por estar em nível acima das estruturas de produção e manejo de animais, bem como da deposição de dejetos humanos, proveniente das residências. Por outro lado, a supressão da vegetação, pode futuramente interferir no volume de água fornecido pela fonte.

Com a caracterização detalhada das três fontes selecionadas, torna-se possível compreender as condições ambientais, topográficas e de preservação que podem influenciar a qualidade da água.

A partir dessas informações, a próxima etapa consiste na coleta de amostras, tanto primárias quanto secundárias, seguindo procedimentos padronizados que permitem avaliar os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água. Neste sentido, o próximo tópico, apresenta os métodos de coleta, conservação e encaminhamento das amostras ao laboratório, assegurando a confiabilidade dos dados e a comparabilidade com estudos anteriores, em especial com os dados coletados por Mota, Machado e Oliveira (2023).

3.3 Coletas e amostras

As amostras de água foram coletadas em fontes protegidas pelo modelo Caxambu, localizadas na zona rural do município de Cerro Negro, a uma distância aproximada de 20 a 30 km da sede municipal. Após a implantação do sistema de proteção, o procedimento de coleta seguiu as recomendações da Epagri (2003), sendo coletados 500ml de água em frascos esterilizados, evitando-se qualquer contato com a parte interna do frasco e da tampa.

As amostras foram acondicionadas em caixa térmica com gelo e encaminhadas ao Laboratório Quimicampos, sediado em Campos Novos (SC), para análise. Todo o processo de amostragem seguiu a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), garantindo padronização e confiabilidade aos resultados obtidos.

Por se tratar de um estudo de comparação e revisão, foram utilizados dados secundários das duas primeiras coletas realizadas e analisadas por Mota, Machado e Oliveira (2023). Os dados primários correspondem às coletas realizadas em 2025, nos dias 23 de julho, 31 de agosto e 12 de outubro. Ressalta-se que, para as amostras coletadas em 2025, não houve ocorrência de chuvas no período de sete dias que antecederam as coletas, o que assegura maior uniformidade nas condições de amostragem.

Todavia, destaca-se que não foram realizadas coletas e análises de amostras de água das fontes estudadas antes da implantação do modelo Caxambu, o que representa uma limitação do estudo, restringindo a análise à comparação entre o

período pós-implantação e os dados obtidos em estudos anteriores. Apesar dessa limitação, a padronização dos procedimentos de coleta e a análise dos mesmos parâmetros físico-químicos e microbiológicos permitem avaliar a eficácia do modelo na proteção e melhoria da qualidade da água das fontes avaliadas.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O modelo Caxambu é considerado uma tecnologia simples, eficaz e de baixo custo, desenvolvida pela Epagri no final dos anos 80, que se adapta a diversas condições naturais, mas algumas práticas são consideradas ideais ou que favorecem tanto a instalação como a eficácia do sistema, entre elas está:

Localização: a intervenção deve ser realizada na nascente ou no olho d'água (ponto de afloramento da água), após uma limpeza cuidadosa da área, com a remoção de detritos, raízes e possíveis contaminantes. Por se tratar de um sistema instalado na posição horizontal, é indispensável que o local apresente algum grau de declividade no relevo. Em áreas planas, ou seja, sem declividade, recomenda-se a utilização de outros modelos de proteção de fonte, como os de instalação vertical. Até o momento, não há definição estabelecida quanto aos valores máximo e mínimo de declividade necessários para a instalação.

É fundamental que a instalação não esteja em área sujeita a alagamentos ou enxurradas constantes e volumosas, ocasionada por chuvas intensas. Além disso, é necessário criar uma vala (desvio) ao redor da área de proteção para desviar a água da chuva e enxurradas, evitando que a água superficial contaminada chegue à fonte.

Recomenda-se ainda que, como fonte de água para consumo humano, esta não esteja próxima de fontes de contaminação, em especial a contaminação fecal (menos de 50m), posicionada geograficamente, preferencialmente, acima das instalações de manejo animal e de fossa séptica, ou em distâncias maiores quando estiver abaixo dessas instalações.

Solo para vedação: o sistema Caxambu pode ser instalado em qualquer tipo de solo, porém requer vedação da barragem, e neste sentido, o barro argiloso (liguento) ou um solo que, quando misturado com cimento, garanta uma boa impermeabilização é mais indicado, pois evita vazamentos laterais e a contaminação externa.

Material de filtro e proteção: utilização de pedras duras, como pedra ferro, de diferentes tamanhos (grandes, médias e pequenas) para criar o corpo da barragem e o sistema de filtragem natural em torno do olho d'água e das tubulações.

A proteção do olho d'água com pedras deve ser feita de forma a não obstruir a saída da água, pois a obstrução pode causar o represamento do fluxo, o aumento da pressão interna e o conseqüente desvio do curso natural da nascente, resultando em vazamentos laterais, erosão do solo e até na perda da capacidade do manancial.

Isolamento da área: a área deve ser isolada fisicamente para evitar o acesso de animais, especialmente os de grande porte, pois o acesso desses animais pode comprometer o sistema por meio de pisoteio, defecação próxima ou sobre o local e até mesmo quebrar os dutos instalados para desinfecção, limpeza, extravasor e de ligação. Recomenda-se que o isolamento seja instalado em um raio de 50m no entorno da nascente como previsto na legislação ambiental, isso permite a manutenção ou recuperação das condições ambientais do local, favorecendo a recarga natural do manancial hídrico bem como a perenidade e fluxo contínuo de água na fonte.

Mata ciliar e área de preservação: a fonte deve estar preferencialmente onde a mata ciliar ou a vegetação nativa está preservada ou em processo de recuperação, pois as árvores são essenciais para a regeneração dos lençóis freáticos e para a manutenção da quantidade e qualidade da água.

Tubulações: o sistema requer a instalação de tubos específicos: a) cano de captação para conduzir a água até o ponto de consumo; b) cano ladrão (extravasor) para escoar o excesso de água em períodos de maior vazão ou enxurradas. Deve-se proteger a entrada com uma tela para evitar insetos e pequenos animais; c) cano de sanitização, colocado no ponto mais alto, permite a desinfecção periódica da fonte (geralmente a cada 6 meses com água sanitária), e; d) cano de limpeza, instalado na parte mais baixa é utilizado para esgotamento periódico como forma remover resíduos naturais depositados no leito e no interior da fonte (geralmente realizada a cada 6 meses). Deve permanecer fechado.

Todavia, nem sempre as condições ideais estão presentes, como pode ser verificado nos casos estudados, podendo comprometer a eficiência do sistema em reduzir os índices de contaminação. Contudo, não ter as condições ideais, não significa que a instalação do sistema deva ser ignorada ou abandonada, tornando-a uma premissa falsa.

Diante dessas considerações, seguiremos com a análise mais incisiva dos dados obtidos. Para isso, a tabela 3 apresenta os resultados obtidos por análise laboratorial dos dados primários e secundários.

Tabela 3 – Resultados físicos, químicos, organolépticos e microbiológicos da água.

Parâmetros avaliados ²	Data das coletas				
	21/11/22	20/12/22	23/07/25	31/08/25	12/10/25
Fonte 01					
Coliformes Totais (UFC/100ml)	700	>1000	>1000	500	100
pH	5,82	5,72	6,02	6,50	5,66
Turbidez (uT)	10,24	10	<0,14	8,67	9,72
Sólidos Solúveis (mg/L)	16,40	18,00	19,42	19,83	117,50
DBO (mg/L)	<25	<25	<25	<25	<25
DQO (mg/L)	<25	<25	<25	<25	<25
Cloro residual (mg/L)	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Cor (uH)	3,15	2,20	0,13	3,82	3,20
Fonte 02					
Coliformes Totais (UFC/100ml)	500	>1000	500	250	150
pH	5,70	5,74	6,02	6,40	5,65
Turbidez (uT)	9,06	15	<0,14	7,03	5,88
Sólidos Solúveis (mg/L)	15,30	15,60	15,56	11,72	22,40
DBO (mg/L)	<25	<25	<25	<25	<25
DQO (mg/L)	<25	<25	<25	<25	<25
Cloro residual (mg/L)	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Cor (uH)	2,31	3,30	0,13	2,60	1,51

² Parâmetros analisados e confrontados com os valores de referência estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/ 2021 e pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Fonte 03					
Coliformes Totais (UFC/100ml)	>1000	>1000	>1000	500	250
pH	7,30	6,66	6,35	6,60	6,08
Turbidez (uT)	0,39	6,00	<0,14	4,54	5,38
Sólidos Solúveis (mg/L)	20,90	36,80	35,00	28,20	37,20
DBO (mg/L)	<25	<25	<25	<25	<25
DQO (mg/L)	<25	<25	<25	<25	<25
Cloro residual (mg/L)	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Cor (uH)	0,30	1,50	0,14	1,30	1,30

Fonte: análises laboratoriais produzidas pelo Laboratório Quimicampos, adaptado pelos autores.

A análise dos dados secundários (2022) e dados primários (2025), coletados nas três fontes protegidas pelo modelo Caxambu, revela padrões de qualidade de água distintos, variando positivamente e negativamente entre uma amostragem e outra, porém, com tendências de melhoria ao longo do tempo. Essa tendência de melhoria ao longo do tempo, não significa que, em determinadas condições ambientais, permanecerá constante, podendo sofrer variação negativa de qualidade em parte ou no total dos parâmetros avaliados.

A Resolução Conama nº 357/2005 classifica os corpos de água e estabelece limites de qualidade, sendo a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) um indicador direto de poluição orgânica. Para corpos d'água destinados ao abastecimento humano, os limites máximos de DBO são: a) classe 1: até 3 mg/L O₂; b) classe 2: até 5 mg/L O₂; e c) classe 3: até 10 mg/L O₂.

Nas análises realizadas, os resultados de DBO foram reportados pelo laboratório como “<25 mg/L”, em razão do limite de quantificação do equipamento utilizado (25 a 1500 mg/L). Embora os valores reais tenham sido inferiores ao limite de detecção — indicando ausência de carga orgânica mensurável —, para fins de registro técnico não é possível expressar o resultado como “zero”. Assim, considera-se que a DBO das fontes avaliadas encontra-se abaixo de 25 mg/L, podendo ser interpretada como não detectável dentro da sensibilidade do método.

Dessa forma, ainda que o valor reportado seja superior ao limite máximo

estabelecido para a classe 3 (10 mg/L), ressalta-se que tal discrepância decorre da limitação instrumental e não necessariamente da presença efetiva de matéria orgânica. Para fins acadêmicos, admite-se a interpretação de que os resultados indicam DBO inferior a 10 mg/L, compatível com os padrões de potabilidade previstos na legislação vigente.

O nitrato apresentou valores reduzidos, variando entre (< 0,114 e 1,53 mg/L), abaixo do padrão de 10 mg/L, definido pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Isso significa que a qualidade da água está dentro do padrão de potabilidade para esse parâmetro, e não apresenta o risco à saúde associado à ingestão de altas concentrações de nitrato. É um resultado satisfatório em uma análise de água para consumo humano. Por outro lado, os menores valores encontrados (<0,114), foram para as três fontes na coleta realizada em 21 de novembro de 2022. Na amostragem realizada em 20 de dezembro de 2022, os valores apresentados foram de 0,82, 0,47 e 0,73 (mg/L), respectivamente para as fontes 01, 02 e 03. Não houve amostragem para esse parâmetro em 23 de julho e em 31 de agosto de 2025. Em 12 de outubro de 2025, os valores, na ordem, foram respectivamente de 1,17 mg/L, 0,32 mg/L e 1,53 mg/L.

O aumento da concentração de nitrato na água (especialmente em águas subterrâneas/poços) é quase sempre um indicador de contaminação antropogênica (causada por atividades humanas), já que as concentrações naturais são geralmente muito baixas. O uso inadequado de fertilizantes nitrogenados, dejetos de animais, fossas inadequadas e o aumento de matéria orgânica, podem ser fatores determinantes na elevação dos níveis de nitrato na água.

O parâmetro Cloro Residual Livre em todas as coletas apresentou valores abaixo do limite de detecção do método analítico, registrando, (<0,2 mg/L) nas amostras coletadas em 21 de novembro e em 20 de dezembro de 2022, e (<0,10 mg/L) nos dados de 23 de julho, 31 de agosto e 12 de outubro de 2025. Para esse parâmetro, a Portaria GM/MS nº 888/2021, estabelece 5 mg/L como referência.

Neste sentido, os dados de Cloro Residual Livre, consistentemente abaixo do limite de referência em todas as três nascentes, levantam a hipótese de que há ausência de um processo de desinfecção (cloração), contrariando a recomendação de manutenção, limpeza e desinfecção a cada seis (06) meses.

Essa falha sanitária é crítica, pois, em conjunto com os altos níveis de contaminação microbiológica observada (Coliformes Termotolerantes/Totais), expõe

a água captada a um alto risco de veiculação de doenças, caracterizando a água como imprópria para consumo sem tratamento prévio, independentemente da qualidade ambiental do entorno.

Diante desse panorama geral, observa-se que, embora as três fontes apresentem condições favoráveis em diversos parâmetros de qualidade da água, cada uma delas possui particularidades que refletem as especificidades do entorno e das práticas de manejo aplicadas.

Cada nascente possui uma área de entorno, que é responsável pela condução de águas superficiais e subterrâneas em direção às cotas mais baixas do relevo. Tudo o que estiver inserido nessa área - instalações animais, residências, estradas, plantações, etc - impacta diretamente na quantidade e na qualidade da água que abastecerá essa nascente. Portanto, a preservação da área no entorno, com vegetação nativa, é a forma mais segura de obter água de melhor qualidade, pois a interceptação das gotas de chuva pelas copas, diminui a erosão do solo provocada pelo impacto delas no solo. Parte da chuva interceptada é direcionada para o tronco, onde escoar e facilmente chega até as raízes, infiltrando rapidamente sem formar enxurrada. A passagem da água pelo interior do solo, e não sobre ele, realiza o processo de depuração. A água que infiltra reage com as partículas do solo, especialmente as argilas, promovendo trocas iônicas e, a passagem lenta pelos poros, faz com que chegue até a nascente depurada química (enriquecida em metais) e fisicamente (com baixa turbidez e com menos sólidos solúveis).

Dessa forma, cada uma das 03 fontes avaliadas têm diferentes impactos de acordo com a situação da área de entorno. Vale salientar, que a legislação prevê um raio de 50m de preservação em torno de nascentes e, para áreas consolidadas, um raio mínimo de 15m. Quando a nascente também é a fonte de abastecimento de água da família, além do raio de preservação, necessita o cercamento da área e a instalação de uma estrutura de proteção.

Os tópicos a seguir, contém uma análise individualizada de alguns dos parâmetros analisados, em cada uma das três fontes.

4.1 Análise da fonte nº 01

A fonte nº 01, protegida em 19/10/2022, é caracterizada por estar logo abaixo das estruturas de produção e residência familiar, o que a torna suscetível à

contaminação. Em relação à contaminação microbiológica, os Coliformes Totais³ apresentaram valores elevados nas coletas iniciais de 2022 e na primeira coleta de 2025 (700 UFC/100ml em 21 de novembro, mais de 1.000 UFC/100ml em 20 de dezembro e em 23 de julho), entretanto houve uma redução significativa nas coletas realizadas em 31 de agosto e em 12 de outubro, registrando 500 UFC/100ml e 100 UFC/100ml, respectivamente.

A contaminação por Coliformes Termotolerantes^{4 5} esteve presente nas duas avaliações realizadas em 2022, passando de 5 UFC/100ml em 21 de novembro, para 200 UFC/100ml em 20 de dezembro. Contudo, a coleta de 12 de outubro de 2025 registrou ausência de coliformes termotolerantes, atendendo ao padrão de potabilidade para este parâmetro. Entretanto, a ausência registrada não significa que será permanente, podendo ter ocorrência em análises futuras.

O pH inicial (21 de novembro e 20 de dezembro) ficou ligeiramente abaixo do limite mínimo de potabilidade de 6,0 (5,82 e 5,72, respectivamente). Nas coletas de 2025 (23 de julho e 31 de agosto), o pH ajustou-se, registrando 6,02 e 6,50, dentro da faixa aceitável de 6,0-9,5, entretanto, retornou para 5,66 na coleta realizada em 12 de outubro, indicando que existe variação positiva ou negativa ao longo do tempo e de acordo com as condições ambientais presentes na véspera da coleta.

Um ponto crítico para a fonte nº 01 foi a turbidez, que excedeu o padrão de 5 uT em três das cinco coletas (10,24 uT em 21 de novembro; 10 uT em 20 de dezembro; e 8,67 uT em 31 de agosto; e, 9,72 uT em 12 de outubro), tendo o menor e único dado amostral dentro dos parâmetros aceitos, a coleta realizada em 23 de julho, que registrou valor menor que 0,14 uT.

Os sólidos solúveis totais mantiveram-se em níveis baixos (16,4 a 19,83 mg/L) em 80% das amostras. Porém, chegou a 117,5 mg/L, na amostra coletada em 12 de outubro, estando ainda abaixo do limite máximo de tolerância (500 mg/L).

³ A Portaria GM/MS nº 888/ 2021, estabelece como referência para cada tipo de sistema de abastecimento de água (SAI, SAC ou SAA), conforme apresentado no Quadro 1.

⁴ Também conhecidos como coliformes fecais, são um grupo de bactérias encontradas principalmente no intestino de animais de sangue quente, incluindo humanos. Eles são indicadores de contaminação fecal recente e são considerados um sinal de que a água ou alimento pode estar contaminado com outros patógenos perigosos, entre eles a *Escherichia coli*.

⁵ A Portaria GM/MS nº 888/ 2021, estabelece como referência a ausência em 100ml, conforme apresentado no Quadro 1.

4.2 Análise da fonte nº 02

A fonte nº 02, protegida em 20/10/2022, possui uma área de preservação com floresta e banhado, mas o isolamento físico foi mínimo, permitindo acesso de animais próximo à fonte. Os resultados para Coliformes Totais e Termotolerantes indicaram contaminação severa, atingindo valor superior a 1.000 UFC/100ml Totais e 500 UFC/100ml Termotolerantes em 20 de dezembro de 2022. Embora a contaminação inicial tenha sido alta, houve uma tendência de queda no decorrer de 2025 (500 UFC/100ml Totais em 23 de julho, 250 em 31 de agosto e 150 em 12 de outubro). Semelhante à fonte nº 01, a coleta de 12 de outubro registrou ausência de Coliformes Termotolerantes.

Assim como na fonte nº 01, o pH inicial ficou abaixo do limite mínimo (5,70 em 21 de novembro e 5,74 em 20 de dezembro), mas subsequentemente atingiu valores de 6,02 e 6,40, inserindo-se na faixa de potabilidade, retornando posteriormente abaixo desta faixa ao registrar 5,65 em 12 de outubro.

A turbidez foi um problema recorrente, com leituras que excederem o limite de 5 uT (9,06 uT em 21 de novembro, 15 uT em 20 de dezembro, 7,03 uT em 31 de agosto e 5,88 uT em 12 de outubro), registrando exclusivamente em 23 de julho <0,14 uT, dentro da faixa tolerável.

A cor (uH) e os sólidos solúveis totais permaneceram estáveis e em níveis muito baixos, registrando médias de 1,51 uH e 15,56 mg/L, dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/ 2021, 15 uH e 500 mg/L respectivamente.

4.3 Análise da fonte nº 03

A fonte nº 03, protegida em 26/10/2022, apresentava a menor probabilidade de contaminação por coliformes devido ao isolamento físico com cerca de arame farpado e por estar em uma cota topográfica superior às estruturas de produção e residências vizinhas. Apesar dessa vantagem estrutural, a contaminação por Coliformes Totais foi a mais persistente no início do monitoramento, registrando acima de 1.000 UFC/100ml, nas três primeiras coletas (21 de novembro, 20 de dezembro de 2022 e 23 de julho de 2025). O valor só diminuiu para 500 UFC/100ml Totais em 31 de agosto e para 250 em 12 de outubro de 2025.

Na coleta final de 12 de outubro, a fonte também alcançou o padrão de potabilidade, registrando ausência de Coliformes Termotolerantes, porém nas coletas de 21 de novembro e 20 de dezembro de 2022, registrou-se 1 e 100 UFC/100 ml.

Diferentemente das demais, a fonte nº 03, foi a única a manter o pH consistentemente dentro da faixa de potabilidade (entre 7,30 e 6,35 nas coletas de 2022 e 2025).

A turbidez foi geralmente baixa (0,39 uT, <0,14 uT e 4,54 uT), embora o valor de 6 uT registrado em 20 de dezembro tenha excedido o padrão de 5 uT. Os sólidos solúveis totais apresentaram a maior variabilidade entre as fontes analisadas, com leituras variando de 20,90 a 36,80 mg/L, mas dentro do valor de referência (500 mg/L).

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem afirmar que o modelo Caxambu exerce impacto positivo na proteção física das fontes avaliadas, reduzindo gradativamente a presença de microrganismos indicadores de contaminação fecal e contribuindo para a melhoria da qualidade da água ao longo do tempo. O objetivo de verificar a melhoria da qualidade após dois anos da implantação foi atingido.

O impacto mais significativo foi observado na área microbiológica, todas as três fontes analisadas registraram a ausência de Coliformes Termotolerantes na coleta final de outubro de 2025. É um indicador essencial de contaminação fecal e representa o atendimento ao padrão de potabilidade para este parâmetro específico, evidenciando que o isolamento físico da fonte e do entorno (cercamento e manutenção da vegetação) cumpriu seu papel inicial de redução de riscos. Entretanto, esse indicador, assim como os demais, deve ser monitorado periodicamente, pois há forte influência ambiental que poderá apresentar contaminação futura.

Apesar da notável melhora no parâmetro de contaminação fecal, o estudo concluiu que a potabilidade plena não foi alcançada. Isso se deve à persistência de Coliformes Totais — que variaram entre 100 a 250 UFC/100 ml nas coletas finais — e, sobretudo, ao parâmetro turbidez, que excedeu o Valor Máximo Permitido (VMP de 5 uT) em diversas amostras nas fontes 1 e 2.

A persistência da turbidez acima do VMP (5 uT), principalmente nas fontes 1 e 2, sugere que, embora o sistema Caxambu isole o ponto de captação, o manejo da Área de Preservação Permanente (APP) e a declividade do terreno, especialmente próximos a estruturas como galpões de animais (Fonte 1), ainda permitem a chegada de partículas em suspensão, limitando o sucesso do sistema sem filtração adicional.

Embora a fonte 3 apresentasse a menor probabilidade de contaminação por coliformes, o estudo aponta que a supressão da vegetação no entorno para a implantação de reflorestamento de *Pinus spp* pode futuramente interferir no volume de água fornecido pela nascente. Isso representa uma limitação potencial de longo prazo sobre a sustentabilidade do fornecimento de água.

A persistência de Coliformes Totais e Termotolerantes (mesmo que ausentes na última amostragem) aliado ao baixo nível de Cloro Residual Livre, pode indicar

ausência de manutenção, limpeza e desinfecção (cloração), opondo-se ao que se recomenda, ou seja, a cada seis meses.

Dessa forma, a hipótese de que o sistema Caxambu, por si só, garantiria a potabilidade plena da água para consumo humano é rejeitada, uma vez que os resultados mostram a necessidade de tratamento complementar como fervura ou cloração. Porém, diante do fato em que os dados apresentam redução significativa nos valores totais de contaminação por Coliformes Totais e Termotolerantes, pode-se afirmar que o sistema Caxambu cumpre com o objetivo de melhorar a qualidade da água, atendendo a necessidade em situações onde não se apresenta outros sistemas de fornecimento de água potável.

Ainda que o sistema Caxambu reduza significativamente os riscos, para o consumo humano, este deve ser uma alternativa para abastecimento de água, por meio de Sistema Alternativo Individual (SAI), em comunidades rurais desassistidas e isoladas, onde haja inviabilidade técnica de instalação de Sistema de Abastecimento de Água (SAA) ou Sistema Alternativo Coletivo (SAC).

O modelo Caxambu é uma tecnologia que representa um avanço crucial na proteção de fontes, especialmente no que tange à segurança contra contaminação fecal. Contudo, ele deve ser encarado como a primeira e não a única etapa do processo para garantir o direito constitucional ao acesso à água potável.

A melhoria nos índices de qualidade da água, mesmo que em sistema de proteção de fonte, modelo Caxambu ou outros modelos, está diretamente relacionada às condições ambientais e sanitárias da área de contribuição do entorno da nascente.

5.1 Limitações do Estudo

Em um balanço crítico sobre os resultados obtidos e a metodologia aplicada, algumas limitações do trabalho devem ser destacadas:

1. Ausência de dados: Não houve coleta de amostras antes da implantação do modelo Caxambu, nem no estudo de Mota, Machado e Oliveira (2023), nem neste TCC. Isso constitui uma limitação metodológica que restringe a análise à comparação entre o período pós-implantação (dados de 2022 e 2025), não permitindo quantificar a melhoria real em relação ao estado original da fonte.

2. Análise de coliformes termotolerantes e nitrato: Não foi realizada análise

para os parâmetros coliformes termotolerantes e nitrato em 23 de julho e em 31 de agosto de 2025. A falta destes dados compromete a avaliação detalhada da evolução microbiológica e química das fontes ao longo do período, gerando lacunas na comparação temporal e reduzindo a robustez estatística dos resultados.

Outros fatores, como variações climáticas, manejo do solo e acesso de animais, também podem ter influenciado os resultados, mas não foram monitorados de forma específica. Essas limitações devem ser consideradas na interpretação dos dados e reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e periódico.

5.2 Recomendações e Sugestões para Trabalhos Futuros

Com base nas conclusões e limitações encontradas, as seguintes recomendações e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas:

1. Medidas de Tratamento Complementar: O sistema Caxambu é crucial para reduzir riscos, mas para que a água atenda plenamente aos padrões de potabilidade para consumo humano, medidas complementares de tratamento, como a fervura, filtragem e/ou cloração, permanecem necessárias.

2. Educação Sanitária e Monitoramento: É fundamental que a utilização do sistema Caxambu seja acompanhada por ações de educação sanitária e monitoramento contínuo da qualidade da água.

3. Desenvolvimento de Soluções Integradas: Sugere-se que trabalhos futuros explorem a combinação do modelo Caxambu com sistemas simplificados de filtragem e desinfecção domiciliar (como o uso de filtros lentos ou sistemas de cloração), visando garantir a conformidade com a Portaria GM/MS Nº 888/2021.

REFERÊNCIAS

ABREU, Rafael Lorenzeto de. **Município de Santa Catarina Cerro Negro.svg**. 2006. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1150426>>. Acesso em: 22 set. 2025.

AMARAL, João J. F. **Como fazer uma pesquisa bibliográfica**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE: 2007. Disponível em: <<http://200.17.137.109:8081/xiscanoe/courses-1/mentoring/tutoring/Como%20fazer%20pesquisa%20bibliografica.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Panorama do saneamento básico no Brasil 2021**. Brasília, DF: MDR, 2021. 223 p. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/cidades/p t-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/PANORAMA_DO_SANEAMENTO_BASICO_NO_BRASIL_SNIS_2021compactado.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2025.

_____. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF: 2005. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450>. Acesso em: 30 out. 2025.

_____. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF: Ministério da Saúde. 2006. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acesso em: 16 out. 2025.

_____. **Lei nº 11.445**, de 11 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF: 2007. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 23 de set. 2025.

_____. **Lei nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF: 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>. Acesso em: 23 de set. 2025.

_____. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF: 2012. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-normaatualizada-pl.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2025.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS Nº 888**, de 4 de maio de 2021.

Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF: 2021. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html>. Acesso em: 18 jun. 2025.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Relatório dos Serviços de Abastecimento de Água – SINISA 2024 ano de referência 2023**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF: 2025. Disponível em: <www.gov.br/cidades/sinisa>. Acesso em: 26 jun. 2025.

_____. FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. FUNASA. Brasília, DF: 2019. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

CALHEIROS, R. de Oliveira et al. **Preservação e Recuperação das Nascentes / Piracicaba**. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ - CTRN, 2004. Disponível em: <<https://saf.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/CartilhaNascentes.pdf>>. Acesso em 12 jun. 2025.

CASTRO, César Nunes de; CEREZINI, Monise Terra. **Saneamento Básico no Brasil: A universalização é possível?**. Rio de Janeiro, RJ: IPEA, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/90f5d6a4-bc9f-4e3f-953b-15bdfe056249/content>>. Acesso em: 14 ago. 2025.

DALLAZEM, Mayara; SUNTTI, Carla. **Análise da qualidade de fontes naturais do interior do município de Rio das Antas – SC – protegidas ou não por sistema Caxambu**. Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Videira /Universidade do Oeste de Santa Catarina. Joaçaba, SC: Unoesc, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.unoesc.edu.br/apeuv/article/view/10579/5596>>. Acesso em: 28 jun. 2025.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre, RS: UFRGS, 2009. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/52806/000728684.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística. Portal cidades. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/cerronegro.html>>. Acesso em 24 de set. de 2025.

SANTA CATARINA. CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA 128**, de 08 de março de 2019. Reconhece outras ações e atividades consideradas como eventuais e de baixo impacto ambiental, de acordo com Art. 3º, inciso X, alínea “k”, da Lei nº 12.651/2012. *Diário Oficial do Estado de Santa Catarina*, Florianópolis, SC: 2019. Disponível em:

<<https://www.semae.sc.gov.br/download/resolucao-consema-no-128/>>. Acesso em: 04 de out. 2025.

_____. CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA 192**, de 01 de abril de 2022. Altera o item 15 do Anexo Único da Resolução CONSEMA nº 128, de 08 de março de 2019. *Diário Oficial do Estado de Santa Catarina*, Florianópolis, SC: 2019. Disponível em: <<https://www.semae.sc.gov.br/download/resolucao-consema-no-192/>>. Acesso em: 04 de out. 2025.

_____. EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Tecnologias sociais de baixo custo são ferramentas da Epagri na luta contra estiagem**. Florianópolis, SC: Epagri, 2020. Disponível em: <<https://www.epagri.sc.gov.br/tecnologias-sociais-de-baixo-custo-sao-ferramentas-da-epagri-na-luta-contr-estiagem/>>. Acesso em: 18 jun. 2025.

MOTA, Ana Carla Moraes da Silva; MACHADO, Diego Bittencourt; OLIVEIRA, Luciane Costa de. **Impacto Ambiental e Qualidade da Água de Nascentes Protegidas no Modelo Caxambu em Propriedades Rurais no Município de Cerro Negro/SC**. Lages, SC: Instituto Federal de Santa Catarina, 2023. 25 p.

PRODANOV, C. C; FREITAS, Ernani C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2a ed. Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2013. Disponível em: <<http://www.feevale.br>>. Acesso em 12 jun. 2024.

VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães; SILVA, Assunta Maria Marques. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP**. 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eq/a/8QYrd8YdJNYZ6SmTFyyJtRx/?lang=pt>. Acesso em: 07 nov. 2025.

WEBER, Suselei Brunato et al. **Proteções de nascentes**. Florianópolis, SC: Epagri, 2022. 35 p. Disponível em : <<https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BD/article/view/1585/1456>>. Acesso em: 25 set. 2025.