

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Juliana Pabis

**Avaliação de Tecnologias Sociais aplicadas no Sistema de Abastecimento de Água da
Aldeia Guarani Tekoá Vy'a (Aldeia Feliz), Major Gercino/SC**

Florianópolis
2022

Juliana Pabis

**Avaliação de Tecnologias Sociais aplicadas no Sistema de Abastecimento de Água da
Aldeia Guarani Tekoá Vy'a (Aldeia Feliz), Major Gercino/SC**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico
da Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientador: Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pabis, Juliana

Avaliação de Tecnologias Sociais aplicadas no Sistema de Abastecimento de Água da Aldeia Guarani Tekoá Vy'a (Aldeia Feliz), Major Gercino/SC / Juliana Pabis ; orientador, Rodrigo de Almeida Mohedano, 2022.

113 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Abastecimento de Água. 3. Aldeias Indígenas Guarani. 4. Tecnologias Sociais. I. Mohedano, Rodrigo de Almeida . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Juliana Pabis

Avaliação da Eficiência de Tecnologias Sociais aplicadas no Sistema de Abastecimento de Água da Aldeia Guarani Tekoá Vy'a (Aldeia Feliz), Major Gercino/SC

Florianópolis, 16 de março de 2022.

Prof. Maria Elisa Magri, Dra.
Coordenadora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Banca Examinadora:

Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Maria Elisa Magri, Dra.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Paulo Belli Filho, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

AGRADECIMENTOS

Agradeço a oportunidade de estudar na Universidade Federal de Santa Catarina, uma instituição pública, gratuita e de qualidade que me proporcionou aprendizados que levarei para vida toda.

Aos meus pais, agradeço por proporcionarem a mim os recursos e o incentivo para o estudo e desenvolvimento. Em especial, agradeço à minha mãe, Terezinha, por sempre estar ao meu lado e me encorajar a ser a mulher que sou hoje. À minha irmã, Thaís, você é minha inspiração e porto seguro - you're my person. À minha prima-irmã, Lili, obrigada por todo o apoio e carinho. À minha tia Irene, obrigada pelo cuidado e amor imenso. Amo vocês.

Agradeço aos amigos que fiz por meio da UFSC, por todos os momentos compartilhados e por deixarem a minha vida mais alegre e leve, em especial à Adriane, obrigada pela amizade e por se aventurar comigo na parte prática deste trabalho; à Gabriella, pela amizade e apoio sempre; à Anne, pelo companheirismo; à Jamily, pela amizade maravilhosa; ao Kelvin, pela parceria e cafézinhos; e a todos os integrantes do grupo Amorzinhos, vocês são sensacionais e sempre estarão no meu coração. À minha amiga Juliana, agradeço por todas as conversas e reflexões e por fazer-me lembrar que a vida pode ser mais leve com uma casquinha de sorvete de baunilha.

À Equipe do Projeto Iara, em especial à Camila e Jamille, obrigada por me ajudarem, acolherem e tornarem possível o desenvolvimento dos meus estudos na aldeia. Meu muito obrigada a todos que me acompanharam e auxiliaram na parte prática deste trabalho, cada ajuda foi de grande importância para o resultado final deste trabalho.

O meu muito obrigada à Aldeia V'ya e toda sua comunidade pelo acolhimento. Agradeço especialmente à Vice-Cacique Cecília e ao AISAN Marquinhos. Também agradeço aos técnicos da EPAGRI Marli e Remy, pelo apoio técnico e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço as técnicas do LIMA, Aline e Rafaela, pelo apoio nas análises. À Professora Maria Elisa Magri, meu agradecimento por possibilitar as análises no RReSSa - enriquecendo este trabalho. À Amanda, do RReSSa, obrigada por toda ajuda e disponibilidade.

Por fim, à banca examinadora, composta pela Professora Maria Elisa Magri e pelo Professor Paulo Belli Filho, obrigada por terem aceitado o convite e pela honra de ter profissionais tão capacitados me avaliando. Também, sou grata ao meu orientador Professor Rodrigo, por todo o entusiasmo, orientações e suporte na conclusão deste trabalho. Com toda a certeza, o desenvolvimento deste trabalho é uma grande inspiração para a minha vida.

RESUMO

O acesso a água potável e limpa é essencial para a concretização dos direitos humanos fundamentais, porém, não é a realidade de muitos brasileiros, em especial aos povos indígenas. Em 96% das aldeias Guarani, em Santa Catarina, há sistema de abastecimento de água, mas em 44% não há um sistema completo de distribuição ou um tratamento de água. Além da importância da qualidade da água, a sua quantidade e disponibilidade são imprescindíveis para a manutenção da saúde da população. Neste contexto, as tecnologias sociais buscam solucionar o problema de maneira econômica, prática e simples. Desta forma, este trabalho visa avaliar a viabilidade técnica e social da implementação das tecnologias, Proteção de Fonte Modelo Caxambu (captação de água) e Aqualuz® (desinfecção de água), no sistema de abastecimento de água da Aldeia Guarani Tekoá Vy'a, Major Gercino/SC, por meio do diagnóstico da qualidade da água, eficiência e reflexão crítica da aplicabilidade e aceitação pela comunidade indígena. A avaliação da qualidade da água foi realizada segundo os parâmetros físico-químicos de cor aparente; dureza; ferro total; pH; sólidos dissolvidos totais; sólidos suspensos totais; turbidez; cloreto; nitrato e sulfato, parâmetros bacteriológicos de coliformes totais e *E. coli* e, como complemento a estes, detecção de bacteriófagos (Colifago Somático e RNA F-específico) nos pontos de uso da Aqualuz®. Foram realizadas 6 coletas, em 8 pontos da aldeia, abrangendo as nascentes, reservatórios e pontos de distribuição de água durante o período de setembro de 2021 a fevereiro de 2022. A reflexão crítica foi realizada por meio da adaptação da metodologia de pesquisa-ação. Os resultados mostraram que a água consumida na aldeia não está em conformidade com os parâmetros da Portaria GM/MS nº 888/2021 em virtude, principalmente, da presença de coliformes totais e *E. coli*. A Proteção de Fonte Modelo Caxambu demonstrou aparente aumento na disponibilidade de água e reduziu cerca de 39% dos coliformes totais. A aplicação gerou um aumento nos parâmetros físico-químicos, principalmente, de cor aparente, sólidos suspensos totais e turbidez, devido aos aspectos e condições de instalação e operação. A melhora na qualidade da água foi notada nas últimas análises decorrente do início da estabilização da tecnologia. A Aqualuz® apresentou uma redução de 98,3% (de 2090±659,8 para 36±61,7 NMP/100mL) de coliforme totais e 93,9% (de 28±35,2 para 2±3,4 NMP/100mL) de *E. coli* durante o período analisado, com um ciclo de 4 horas. A maior eficiência foi vista no dia de sol mais intenso, no mês de janeiro, momento em que ambos os parâmetros bacteriológicos foram ausentes. O equipamento foi capaz de reduzir, em dia ensolarado, 100% da concentração de fagos do grupo Colifagos Somáticos e 86,6% da concentração de fagos do grupo RNA F-específico, na amostra que apresentou ausência de *E. coli*. As tecnologias apresentaram manutenção e operação simples, baixo custo e adaptação aos aspectos culturais e desejos da comunidade, assim, apresentando aplicabilidade na aldeia, com ressalvas à Aqualuz® que necessita de adaptações para aplicação efetiva na aldeia. Conclui-se que as tecnologias sociais estudadas podem contribuir para a melhoria das condições sanitárias em aldeias, porém novos estudos precisam ser conduzidos para aprimorar o sistema.

Palavras-chave: Abastecimento de água. Aldeias Indígenas Guarani. Tecnologias Sociais. Modelo Caxambu. Aqualuz®.

ABSTRACT

Although access to clean drinking water is an essential human right, many Brazilians do not have access, especially indigenous people. In Santa Catarina, 96% of the Guarani villages have a water supply system, but in 44% of them there is no complete water distribution or a treatment system. In addition to the importance of water quality, the quantity and availability are essential for maintaining the health of the population. In this context, social technologies seek to solve the problem in an economic, practical, and simple way. Thus, the objective of this work is to evaluate the technical and social feasibility of the application of the Technologies, source protection model "Caxambu" (water collection) and Aqualuz® (water disinfection), applied in the water supply system of the Village Guarani Tekoá Vy'a, Major Gercino/SC, through the diagnosis of water quality, efficiency, critical reflection of applicability and acceptance by the indigenous community. The water quality evaluation was based on physical-chemical parameters of apparent color; hardness; total iron; pH; total dissolved solids; total suspended solids; turbidity; chloride; nitrate and sulfate, bacteriological parameters of total coliforms and *E. coli*. Furthermore, as a complement to the Aqualuz® use points, detection of bacteriophages (Somatic Coliphagus and F-specific RNA). Six collections were made, in 8 points of the village, covering the springs, water tanks, and water distribution points during the period from September 2021 to February 2022. The critical reflection was carried out through the adaptation of the Action Research Methodology. The results showed that the water consumed in the village isn't in accordance with the parameters of Portaria GM/MS nº 888/2021 due, mainly, to the presence of total coliforms and *E. coli*. The source protection model "Caxambu" showed an apparent increase in water availability and reduced about 39% of the total coliforms. The technology contributed to an increase in the physical-chemical parameters, mainly of apparent color, total suspended solids, and turbidity due to the aspects and conditions of installation and operation. The improvement in water quality was noted in the latest analysis, in response of the beginning of the stabilization of the technology.

The Aqualuz® presented a reduction of 98.3% (from 2090±659.8 to 36±61.7 NMP/100ml) of total coliform and 93.9% (from 28±35.2 to 2±3.4 NMP/100ml) of *E. coli* during the analyzed period, with a 4-hour cycle. The highest efficiency was seen on the most intense sunny day, in January, when both bacteriological parameters were absent. The equipment was able to reduce, on a sunny day, 100% of the phage concentration of the Somatic Coliphages group and 86.6% of the phage concentration of the F-specific RNA group, in the sample that presented an absence of *E. coli*. The technologies showed simple maintenance and operation, low cost, and adapts to the cultural aspects and desires of the community, thus presenting applicability in the village, with reservations to Aqualuz® which needs adaptations for effective application in the village. The result of this research showed that the social technologies can contribute to the improvement of sanitary conditions in villages, but further research is required to improve the system.

Keywords: Water supply. Guarani Indigenous Villages. Social Technologies. Caxambu Model. Aqualuz®.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Combinações entre as unidades componentes de um SAA.	25
Figura 2 - Resumo do fornecimento de água nas aldeias indígenas de Santa Catarina (amostra de 10.449 indivíduos).	39
Figura 3 - Tipo de tratamento de água nas aldeias indígenas de Santa Catarina (amostra de 10.449 indivíduos).	39
Figura 4 - Resumo do abastecimento de água nas aldeias Guaranis em Santa Catarina (amostra de 1.600 indivíduos).	40
Figura 5 - Proteção Fonte Modelo Caxambu.	47
Figura 6 – Fonte Modelo Caxambu (A); Esquema do tubo de concreto (B).	48
Figura 7 - Equipamento Aqualuz®.	51
Figura 8 - Representação do ciclo básico de investigação.	52
Figura 9 - Fluxograma metodológico.	53
Figura 10 - Mapa de Localização da <i>Tekoá V'ya</i> , Major Gercino/SC.	54
Figura 11 – Linha do tempo das principais ações realizadas pelo Projeto Iara.	56
Figura 12 - Implementação da Proteção de Fonte Modelo Caxambu na nascente 2.	57
Figura 13 - Modelo Caxambu na nascente no dia da instalação (A) e na visita <i>in loco</i> de janeiro de 2022 (B).	58
Figura 14 - Teste da Aqualuz®: (A) apresentação, (B) preparação para operação do equipamento, (C) e (D) exposição do equipamento a luz solar.	59
Figura 15 - Pontos de coleta de água na Aldeia <i>V'ya</i> , Major Gercino/SC.	62
Figura 16 - Pontos de coleta P1 (A), P2 (B), P3 (C), P4 (D), P5 (E), P6 (F), P7(G) e P8 (H).	63
Figura 17 - Mapa do Sistema de Abastecimento de Água da Aldeia <i>V'ya</i> , Major Gercino/SC.	70
Figura 18 – (A) Ponto de captação da nascente 1; (B) Nascente 2.	71
Figura 19 - Reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água da Aldeia <i>V'ya</i>	72
Figura 20 - Reservatórios e filtro de pressão do Sistema de Abastecimento da Aldeia <i>V'ya</i>	73
Figura 21 - Sistema de desinfecção com hipoclorito desativado.	73

Figura 22 -Qualidade da água no P6 (A) antes e (B) depois da limpeza nos pontos de captação.	74
Figura 23 - Variação temporal e espacial dos valores de cor aparente das amostras de água analisadas.....	80
Figura 24 -Variação temporal e espacial dos valores de turbidez das amostras de água analisadas.....	81
Figura 25 -Variação temporal e espacial dos valores de sólidos dissolvidos totais das amostras de água analisadas.	83
Figura 26 -Variação temporal e espacial dos valores de sólidos suspensos totais das amostras de água analisadas.	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características de soluções alternativas de abastecimento de água.	27
Quadro 2 – Condições experimentais e de operação dos testes da Aqualuz®.....	60
Quadro 3 – Descrição dos pontos de coleta de água.	61
Quadro 4 - Cronograma e descrição das coletas de água.	64
Quadro 5 - Parâmetros e metodologias utilizadas.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão de potabilidade de água para consumo segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021.....	67
Tabela 2 - Valores Máximos Permitidos segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008.	68
Tabela 3 -Resultados das análises físico-químicas.....	76
Tabela 4 - Eficiência de operação do sistema Caxambu referente aos parâmetros físico-químicos.	85
Tabela 5 -Eficiência do sistema Caxambu entre a 8ª e 11ª semana de operação (parâmetros físico-químicos).....	86
Tabela 6 -Resultados das análises bacteriológicas.	87
Tabela 7 - Eficiência de operação do sistema Caxambu referente aos parâmetros bacteriológicos.....	89
Tabela 8 - Percentual de remoção de patógenos da Aqualuz®.	90
Tabela 9 - Eficiência de operação Aqualuz®.	90
Tabela 10 - Resultados das concentrações de fagos nos pontos P6 e P7.....	91
Tabela 11 - Percentual de redução da concentração de fagos após a Aqualuz®.....	92

LISTA DE SIGLAS

ABRASCO	Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva
AIS	Agentes Indígenas de Saúde
AISAN	Agentes Indígenas de Saneamento
CIS	Comissão Intersetorial de Saúde
CTI	Centro de Trabalho Indigenista
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DSEIs	Distritos Sanitários Especiais Indígenas
DSEI-ISUL	Distrito Sanitário Especial Indígena – Interior Sul
DESAI	Departamento de Saúde Indígena
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETA	Estação de Tratamento de Água
ESF-Florianópolis	Associação Engenheiros Sem Fronteiras – Núcleo Florianópolis
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente
MDS	Módulos Sanitários Domiciliares
MQAI	Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano em Aldeias Indígenas
MS	Ministério da Saúde
NMP	Número Mais Provável
NTU	Unidade de Turbidez
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PEAD	Polietileno de Alta Densidade

PET	Polietileno tereftalato
PVC	Policloreto de Vinila
RH	Região Hidrográfica
RReSSa	Grupo de Pesquisas de Recuperação de Recursos em Sistema de Saneamento
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAC	Solução Alternativa Coletiva
SAI	Solução Alternativa Individual
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SDW	<i>Startup Sustainable Development & Water For All</i>
SED/SC	Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina
SESAI	Secretaria Especial de Saúde Indígena
SODIS	<i>Solar water Disinfection</i>
SST	Sólidos Suspensos Totais
SUS	Sistema Único de Saúde
TIs	Terras Indígenas
TS	Tecnologias Sociais
UFP	Unidades Formadoras de Placas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UTM	Universal Transversa de Mercator
UV	Radiação Ultravioleta
UVA	Radiação Ultravioleta A
VIGIÁGUA	Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
VMP	Valores Máximos Permitidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral.....	20
1.1.2	Objetivos Específicos	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	ÁGUA: MEIO AMBIENTE E SAÚDE PÚBLICA.....	21
2.2	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	23
2.2.1	Sistemas de abastecimento e suas definições	23
2.2.2	Soluções alternativas de abastecimento	26
2.2.3	Padrões de Potabilidade de água.....	30
2.2.4	Parâmetros de qualidade da água	32
2.2.4.1	<i>Cor Aparente</i>	32
2.2.4.2	<i>Dureza.....</i>	32
2.2.4.3	<i>Ferro Total</i>	32
2.2.4.4	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH).....</i>	33
2.2.4.5	<i>Sólidos Dissolvidos Totais e Sólidos Suspensos Totais.....</i>	33
2.2.4.6	<i>Turbidez.....</i>	33
2.2.4.7	<i>Cloreto, nitrato e sulfato</i>	34
2.2.4.8	<i>Parâmetros bacteriológicos.....</i>	34
2.2.4.9	<i>Indicadores virais.....</i>	35
2.3	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM TERRAS INDÍGENAS	35
2.3.1	Legislações e competências	35

2.3.2	Abastecimento de água em Terras Indígenas no Brasil e em Santa Catarina	38
2.4	POPULAÇÕES INDÍGENAS MBYÁ-GUARANI.....	41
2.4.1	Aspectos Mbyá – Guarani.....	41
2.4.2	Tekoá V’ya (Aldeia Feliz)	43
2.5	TECNOLOGIAS SOCIAIS	45
2.5.1	Tecnologias aplicadas na aldeia Tekoá V’ya (Aldeia Feliz).....	46
2.5.1.1	<i>Proteção de Fonte Modelo Caxambu.....</i>	46
2.5.1.2	<i>Aqualuz®.....</i>	49
2.6	PESQUISA-AÇÃO	52
3	METODOLOGIA.....	52
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	53
3.2	DIAGNÓSTICO E LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE O ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA ALDEIA.....	55
3.3	APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS	56
3.3.1	Proteção de Fonte Modelo Caxambu.....	56
3.3.2	Aqualuz®.....	58
3.4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA ALDEIA	60
3.4.1	Coleta das amostras.....	61
3.4.2	Análises laboratoriais.....	65
3.4.3	Análise dos dados e avaliação das TS	66
3.5	APLICABILIDADE E ACEITAÇÃO DAS TS PELA COMUNIDADE	68
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA ALDEIA ..	70

4.2	ANÁLISE DA QUALIDADE DE ÁGUA E EFICIÊNCIA DAS TS AVALIADAS	75
4.2.1	Avaliação dos parâmetros físico-químicos	75
4.2.1.1	<i>Parâmetros de pH, dureza e ferro</i>	79
4.2.1.2	<i>Parâmetros de cor, turbidez e sólidos</i>	79
4.2.1.3	<i>Parâmetros de cloreto, sulfato e nitrato.....</i>	84
4.2.1.4	<i>Eficiência de operação da Fonte Modelo Caxambu perante os parâmetros físico-químicos</i>	85
4.2.2	Avaliação dos parâmetros bacteriológicos e indicadores virais	86
4.3	AVALIAÇÃO QUANTO A APLICABILIDADE E ACEITAÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS	93
4.3.1	Proteção de Fonte Modelo Caxambu	93
4.3.2	Aqualuz®.....	94
5	CONCLUSÕES.....	96
6	RECOMENDAÇÕES.....	97
	REFERÊNCIAS.....	100
	APÊNDICE A	112
	ANEXO A.....	113

1 INTRODUÇÃO

O direito a água potável como aspecto essencial a concretização de todos os direitos humanos só foi reconhecido formalmente pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2010, por meio da Resolução nº 64/292. No Brasil, cerca de 35 milhões de brasileiros não tem acesso à água potável, conforme dados de 2019 (CARLOS; FERREIRA FILHO, 2021). Ainda, 14,3% das crianças e adolescentes no país não têm seu direito garantido sendo que, 7,5% possuem acesso a água em casa, no entanto ela não é filtrada ou tem procedência segura, e 6,8% não têm acesso dentro de casa, caracterizando privação extrema (UNICEF, 2018). A água com sua qualidade comprometida nos aspectos químico e microbiológico pode ser considerada um veículo de transmissão de doenças de modo que se torna responsável pela alta incidência de infecções intestinais e participação nos índices de mortalidade infantil (BRASIL, 2014). No Brasil, foram registradas em 2019, no Sistema Único de Saúde (SUS), mais de 273 mil internações e 2.734 óbitos por doenças de veiculação hídrica, ou seja, doenças que têm a água como veículo de transmissão (CARLOS; FERREIRA FILHO, 2021).

Em Santa Catarina, a população indígena é composta majoritariamente por três etnias, sendo elas a Guarani, Kaingang e Xokleng, distribuídas nas regiões litorânea, oeste e centro-norte do Estado, respectivamente (BRIGHENTI, 2013; GARCIA JR; RIVOREDO; FLUMIAN, 2016). As heranças deixadas pelo processo de civilização, imposto sobre a população indígena, influenciou o modo de viver de maneira a transformar aspectos como linguagem, culinária, hábitos cotidianos e, conseqüentemente, a saúde das comunidades (GARCIA JR; RIVOREDO; FLUMIAN, 2016). A perda dos territórios tradicionais foi um dos aspectos que mais afetou esses povos, pois muitos deles foram alocados pelas autoridades não-indígenas do Estado em reservas demarcadas, estas muitas vezes superpovoadas e em situação de vulnerabilidade.

Segundo Silva (2020), conforme dados de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 60,3% dos domicílios indígenas no Brasil contam com rede geral de abastecimento de água e a maioria tem fontes locais como origem da água para consumo, sem indicação de qualquer tipo de tratamento prévio. Em referência aos dados fornecidos pelo Distrito Sanitário Especial Indígena – Interior Sul (DSEI-ISUL), a autora relata que no estado

de Santa Catarina, aproximadamente 25% das aldeias apresentam sistemas de abastecimento de água construídos de forma provisória pelo DSEI-ISUL, enquanto 59% das aldeias possuem um sistema de abastecimento definitivo (projeto e execução por uma empresa licitada). Quanto a desinfecção da água nesses sistemas, existem aldeias que não se adaptaram ao uso do cloro devido ao sabor conferido na água – em grande parte, pelo mal dimensionamento do produto. Há aldeias que possuem o sistema de desinfecção por cloro, porém ou não o usam ou não fazem a devida manutenção.

O sistema inadequado de abastecimento de água presente nas aldeias do país interfere na qualidade de vida e na saúde da população indígena, como também influencia na manutenção do meio ambiente. Assim, a aplicação de alternativas que alinhem acessibilidade e eficiência na resolução dos problemas de engenharia são importantes para o acesso à água apropriada ao consumo. Neste contexto, as Tecnologias Sociais (TS) são uma solução para os problemas de maneira prática e econômica. Desta forma, o presente trabalho tem como local de estudo a aldeia Mbyá-Guarani Tekoá Vy'a (Aldeia Feliz), localizada em Major Gercino, Santa Catarina (SC). A aldeia é foco do Projeto Iara, então desenvolvido pela Associação Engenheiros Sem Fronteiras – Núcleo Florianópolis (ESF-Florianópolis), uma organização global, sem fins lucrativos, que visa o desenvolvimento humano e sustentável por meio da engenharia (EWB-I, 2021). O projeto busca aprimorar o sistema de abastecimento de água presente na aldeia com auxílio de duas TS: a Proteção de Fonte Modelo Caxambu na captação de água e um piloto da tecnologia Aqualuz® para a desinfecção da água. A primeira, já foi implementada em Santa Catarina com auxílio da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e, a segunda, é mais usada no semiárido brasileiro e não possui dados concretos para o sul do Brasil.

Logo, este trabalho visa avaliar a viabilidade técnica e social da aplicação das tecnologias, Proteção de Fonte Modelo Caxambu e Aqualuz®, no sistema de abastecimento de água da aldeia Guarani Tekoá Vy'a de modo a analisar as condições do sistema de abastecimento de água antes e depois da implantação das tecnologias, além de verificar a aplicabilidade e aceitação destas tecnologias pela comunidade indígena em questão.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica e social da aplicação das tecnologias sociais, Proteção de Fonte Modelo Caxambu e Aqualuz®, no Sistema de Abastecimento de Água da Aldeia Guarani Tekoá Vy'a, Major Gercino/SC.

1.1.2 Objetivos Específicos

- i. Caracterizar o sistema de abastecimento de água da Aldeia Guarani Tekoá Vy'a;
- ii. Analisar eficiência das tecnologias sociais, Proteção de Fonte Modelo Caxambu e Aqualuz®, aplicadas na Aldeia V'ya;
- iii. Avaliar a aplicabilidade e aceitação das tecnologias sociais em estudo na Aldeia V'ya.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ÁGUA: MEIO AMBIENTE E SAÚDE PÚBLICA

A água é um dos recursos mais importantes para a sobrevivência dos seres vivos e para a conservação e manutenção do meio ambiente e das relações de dependência entre seres vivos e ambientes naturais. Também, é necessária no desenvolvimento de diversas atividades econômicas como geração de energia, transporte e diluição de efluente (GARCIA; MORENO; FERNANDES, 2015; SUNTTI, 2016). Mesmo sendo um recurso natural e renovável, pode-se considerar a água um recurso limitado, pois a porção de água doce disponível no mundo é muito pequena, cerca de 2,5%. De água doce, em termos de volume, 68,9% correspondem às geleiras e as calotas polares, 29,9% correspondem as águas subterrâneas e, as águas armazenadas em rios e lagos correspondem apenas a 0,3% do total (TUNDISI, 2003 *apud* GARCIA; MORENO; FERNANDES, 2015). O Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água doce do mundo, contudo apresenta uma distribuição heterogênea dentro do seu território nacional. A desigualdade na distribuição de água também é vista na diferença populacional existente entre áreas intensamente antropizadas e áreas com baixa densidade demográfica - como as áreas rurais (ANA, 2019).

Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: o valor da água (KONCAGÜL; TRAN; CONNOR, 2021), a qualidade da água em quase todos os principais rios da América Latina diminuiu devido à poluição, sendo a carga de nutrientes – muitas vezes associada a carga de patógenos – está considerada entre as principais fontes de poluição. Assim, é importante ressaltar que o fornecimento de água potável e o acesso ao esgotamento sanitário são dois aspectos indispensáveis e indissociáveis, pois a falta deste último pode levar à contaminação do solo, de rios, mares e fontes de água utilizadas para abastecimento (ANA, 2019; SILVA, 2020). Quando comprometida sua qualidade sob os aspectos físico, químicos e microbiológicos, a água pode se tornar um veículo de transmissão de doenças como gastroenterites agudas, diarreia, dengue, amebíase, cólera, disenteria bacteriana, entre outras. Estas doenças são chamadas de doenças de veiculação hídrica (DMQAI, 2014). E não são causadas somente pela ingestão direta da água, mas também pela

ingestão de alimentos contaminados e pelo uso dela na higiene pessoal ou em atividades de lazer (MORAIS, 2014).

Estima-se que, anualmente, cerca de 829 mil pessoas morrem de diarreia em consequência do consumo de água, saneamento e higiene inadequada das mãos. Essas causas representam 60% de todas as mortes relacionadas a diarreia em todo mundo, das quais 300 mil são de crianças menores de 5 anos (KONCAGÜL; TRAN; CONNOR, 2021). O Brasil possui altos índices de incidência de infecções intestinais transmitidas pela água e, por consequência, elevadas taxas de mortalidade, em especial as de mortalidade infantil (SUNTTI, 2016; FERNANDES, 2020). Segundo o Instituto Trata Brasil (2021), com dados ainda preliminares, contabilizou que em 2020 foram registradas cerca de 174 mil internações por doenças de veiculação hídrica - uma redução de 35% em relação a 2019 - ano em que foram gastos cerca de R\$ 108 milhões com internações no SUS devido a este tipo de doença.

Além de causar doenças diarreicas, a ingestão de água imprópria para o consumo pode causar enteropatias ambientais que inibem a absorção de nutrientes, resultando em desnutrição. Cerca de 50% de todos os casos de desnutrição no mundo estão associados à diarreia crônica ou a infecções por vermes intestinais resultantes do uso direto de água, saneamento e higiene inadequados (KONCAGÜL; TRAN; CONNOR, 2021). Além das doenças provocadas por agentes biológicos, a água pode atuar como veículo de transmissão de doenças causadas por contaminantes químicos, principalmente aqueles que possuem propriedades tóxicas cumulativas como metais pesados e agentes cancerígenos (DMQAI, 2014). Estes contaminantes podem ter origem natural ou de processos industriais, ocupação humana, uso agrícola ou do próprio processo de tratamento de água (PÁDUA, 2010).

Um aspecto marcante no país é a condição sanitária nos locais mais afastados do meio urbano, nos quais há condições favoráveis à transmissão de doenças veiculadas à água visto as circunstâncias atuais de saneamento (FUNASA, 2009). Nas comunidades indígenas em que a ocupação do espaço é preservada e não há grande adensamento populacional, há a possibilidade de utilizar a água disponível no local sem tratamento por ela ter a sua qualidade preservada. Porém, com as intervenções no local de residência e no modo de vida desses povos, a disponibilidade e qualidade da água vem sendo comprometida de modo a necessitar de tratamento para torná-la adequada ao consumo humano (LIMA et al., 2018).

Neste contexto, visando melhorias no contexto do saneamento, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 – Água potável e Saneamento da ONU, objetiva assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável de água e saneamento para todos. Para isso, ações como “aumentar a quantidade e cobertura das estações de monitoramento das águas subterrâneas; [...] utilizar a “infraestrutura verde”, focando em obras de engenharia para tentar garantir a oferta de água e incorporando ações de proteção e restauração de ecossistemas [...]” (ANA, 2020) são alguns meios sugeridos para alcançar as metas deste objetivo. Neste cenário, o Brasil possui um compromisso interno, estipulado pelo novo Marco Legal do Saneamento, de até 2033 oferecer água potável para 99% da população e coleta e tratamento dos esgotos para 90% da população (TRATA BRASIL, 2021).

Ademais, com a Pandemia do COVID-19 desde 2020, as medidas de higienização como lavar tanto as mãos quanto objetos de uso pessoal e alimentos com água e sabão tornaram-se indispensáveis para evitar o contágio e propagação do vírus. Assim, a importância e necessidade do acesso ao saneamento básico é reforçada mais uma vez em um contexto em que mais de 3 bilhões de pessoas e duas em cada cinco unidades de saúde não tem acesso adequado a instalações básicas para higiene das mãos (ANA, 2020; KONCAGÜL; TRAN; CONNOR, 2021).

2.2 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.2.1 Sistemas de abastecimento e suas definições

Conforme a Lei Federal nº 14.026¹, de 15 de julho de 2020, o saneamento básico é entendido como conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais. Esse conjunto é classificado em quatro aspectos sendo eles o esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, e abastecimento de água potável. Em específico, o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) pode ser entendido

¹ Art. 7, alínea 22

(Fonte: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm)

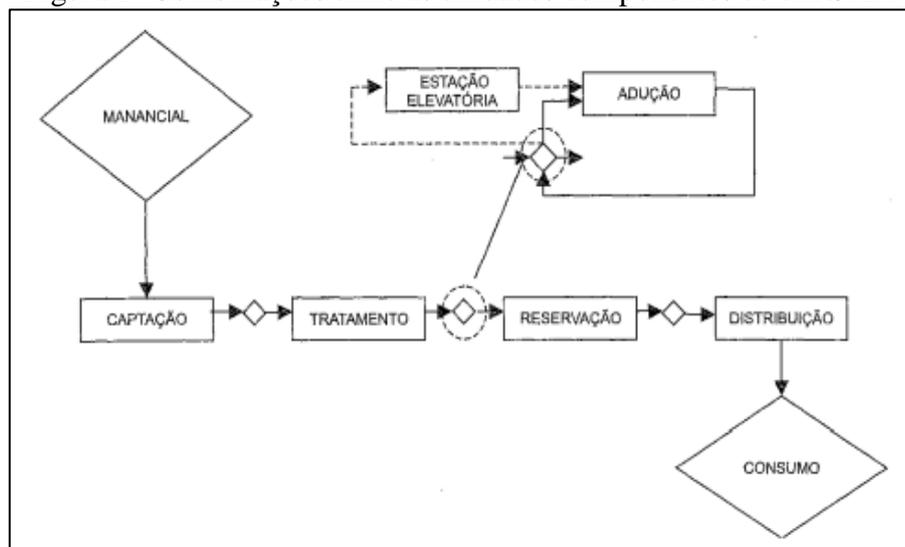
como, segundo o Art. 5º, inciso V, da Portaria GM/MS nº 888/2021, “instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição” (BRASIL, 2021). Ainda, o SAA oferece conforto à população e a redução dos possíveis riscos à saúde causados pela água.

Os tipos de sistemas de abastecimento dependem, principalmente, do tipo de manancial, da topografia da área e da população a ser atendida (TSUTIYA, 2006). O sistema de abastecimento de água convencional é composto por três etapas principais: a captação da água “bruta”, ou seja, a extração da água encontrada na natureza; tratamento da água para torná-la potável, etapa que ocorre na Estação de Tratamento de Água (ETA); e distribuição da água tratada até os consumidores. O sistema pode ser dimensionado para pequenas ou grandes populações, dependendo da necessidade do local (COSTA, 2015). Tsutiya (2006), Heller (2010) e Costa (2015) descrevem os componentes do SAA como:

- a) Manancial: é a fonte de água, superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento;
- b) Captação: é o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento. As alternativas de captação dependem do tipo de manancial;
- c) Estação elevatória: é um sistema utilizado quando é necessário que a água atinja níveis mais elevados do terreno de modo que, funciona com equipamentos para recalcar a água de um reservatório inferior a um reservatório superior. Em geral, é composto por três partes: a tubulação de sucção que é a canalização que liga o reservatório inferior à bomba; o conjunto elevatório constituído por uma ou mais bombas e respectivos motores; e a tubulação de recalque, a qual é a canalização que liga a bomba ao reservatório superior;
- d) Adução: canalizações destinadas a conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Podem ser classificadas quanto à natureza da água transportada sendo adutora de água bruta ou adutora de água tratada e, em função das características hidráulicas podendo ser por gravidade, recalque (uso de sistema elevatório) ou mista, utilizando tanto recalque quanto gravidade;

- e) Tratamento: etapa destinada ao tratamento da água bruta para adequar as suas características aos padrões de potabilidade segundo a portaria de potabilidade vigente. No Brasil, o tratamento mais comum inclui as etapas de mistura rápida/coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção. O último pode ser realizado por agentes físico e químicos. O cloro é o agente de desinfecção químico mais utilizado no país, já outras alternativas de desinfecção são o ozônio e radiação ultravioleta (UV);
- f) Reservação: após tratada, a água é armazenada em reservatórios, os quais auxiliam na regularização das variações entre as vazões de adução e de distribuição, e condicionam as pressões na rede de distribuição. Os reservatórios podem ser escolhidos em função da sua posição no terreno (apoiado, elevado, semienterrado, enterrado) e de sua posição à rede de distribuição (montante ou jusante); e
- g) Distribuição: constitui a parte final do sistema, em que a água é efetivamente entregue ao consumidor por meio de uma rede de distribuição formada de tubulações e acessórios que distribuem a água de forma contínua, em quantidade e com pressão recomendada. As redes possuem condutos principais que são canalizações de maior diâmetro que alimentam os condutos secundários, os quais possuem menor diâmetro e abastecem os usuários do sistema, e podem ser dispostas em diferentes traçados: redes ramificadas, malhadas ou mistas.

Figura 1- Combinações entre as unidades componentes de um SAA.



Fonte: Heller (2010).

Para Tsutiya (2006), o principal objetivo do sistema de abastecimento de água é viabilizar uma água de boa qualidade, quantidade adequada e pressão suficiente aos usuários. Conforme Costa (2015), o tratamento da água é capaz de gerar uma rápida e sensível melhoria nas condições de vida e na saúde da população, pois tem relação com o controle e prevenção de doenças, hábitos de higiene, limpeza pública, entre outros. Na avaliação do impacto do acesso universal à água potável, saneamento e higiene precário sobre doenças diarreicas infantis, relatada no Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: o valor da água (KONCAGÜL; TRAN; CONNOR, 2021), observa-se que a existência de ligação dos domicílios ao abastecimento de água, assim como, os níveis mais elevados de saneamento, reduzem os riscos de morbidade dessas doenças. A água encanada oferece uma melhor qualidade e disponibilidade contínua de modo a reduzir em 75% o risco de diarreia – em comparação a um cenário com água para consumo não tratada (KONCAGÜL; TRAN; CONNOR, 2021). Desta maneira, a implantação de um sistema de abastecimento de água, associada a outros aspectos do saneamento como sistemas de tratamento de esgoto, tem grande relevância na diminuição da incidência de doenças hídricas.

2.2.2 Soluções alternativas de abastecimento

Nas áreas rurais e afastadas dos serviços e políticas de saneamento e saúde, o acesso a água potável e segura é mais difícil. Assim, torna-se comum a utilização de soluções alternativas de abastecimento, as quais são definidas como “modalidades de abastecimento coletivo de água distinta do sistema de abastecimento de água, incluindo, entre outras, fonte, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontais e verticais” (BRASIL, 2006b). As soluções podem ser coletivas ou individuais, conforme o Art. 5º da Portaria GM/MS nº 888/2021:

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 (BRASIL, 2021).

As soluções alternativas se diferenciam dos SAA por não terem rede de distribuição. Também pois, em todo sistema de abastecimento o responsável pela prestação do serviço é o município, podendo ser por meio de um ente público ou privado (BRASIL, 2006b).

Em alguns casos, as SAC podem apresentar rede de distribuição que, pelo ponto de vista físico, se assemelham aos sistemas de abastecimento convencionais como em casos de instalações particulares (condomínios horizontais, hotéis, etc.). Os componentes incluem captação, adução, tratamento, sistema de distribuição (reservatórios e rede de distribuição). Já as desprovidas de rede de distribuição, são associadas a fontes, poços ou chafarizes comunitários e a água é utilizada de forma coletiva (BRASIL, 2006b).

A captação de água das soluções alternativas é semelhante à dos SAA, pois podem ser por meio de mananciais subterrâneos como nascentes e poços ou por mananciais superficiais como lagos e rios (MORAIS, 2014). Os mananciais superficiais têm maior susceptibilidade a contaminações e, deste modo, necessitam de tratamentos mais complexos. Já as águas subterrâneas, por terem em seu ciclo a percolação no solo, dispensam algumas etapas do tratamento da água de modo a necessitar apenas da desinfecção, fluoretação e eventual correção de pH (RAID, 2017). Além das fontes comentadas, há ainda a captação de água da chuva que, quando captadas e armazenadas adequadamente, podem oferecer uma qualidade superior às de outras fontes disponíveis no que se refere à cor, sabor e turbidez (FERREIRA, 2008). No Quadro 1 são apresentadas algumas opções de soluções alternativas e suas características.

Quadro 1 - Características de soluções alternativas de abastecimento de água.

Componentes da solução de abastecimento	Soluções alternativas		Características
Captação	Manancial subterrâneo	Nascentes	Apresentam, geralmente propriedades compatíveis com os padrões de potabilidade (RAID,2017).
		Poços	Necessita de dispositivo para captar a água, como, por exemplo, bombas. As vazões individuais dos poços são relativamente pequenas, sendo limitadas pelas características geológicas do manancial subterrâneo (RAID,2017).
	Manancial superficial		Coleta e transporte da água realizada pelos próprios moradores, não havendo garantias em relação à qualidade

		da água, mesmo que realize posterior tratamento domiciliar (RAID,2017).
	Água da chuva	Risco de contaminação da água por falta de barreiras de proteção sanitária adequadas. Ausência de legislação relacionadas à vigilância da qualidade da água de chuva (RAID,2017).
Tratamento	Desinfecção solar	Muitos organismos patogênicos presentes nas águas são vulneráveis ao calor e à radiação ultravioleta, sendo estes presentes na energia solar (PÁDUA, 2010). Assim, não requer pós tratamento e utilização de produtos químicos. A tecnologia é de baixo custo e, por não alterar o odor e sabor natural da água, possui maior aceitação dos consumidores. Porém, o volume de água tratada gerado é pequeno. Nos casos de dias nublados, é recomendado que a água fique exposta a luz solar por mais tempo, em torno de dois dias consecutivos, para poder completar a inativação dos microrganismos. Ainda, a turbidez alta na água pode comprometer a eficiência do tratamento (RAID,2017).
	Fervura	Destina-se à inativação ou eliminação de microrganismos em um processo de fervura de 15 minutos antes do consumo (PÁDUA, 2010). O método é limitado pelo custo do combustível e o tempo envolvido na fervura e resfriamento da água (RAID, 2017).
	Desinfetantes a base de cloro	O cloro pode ser aplicado para a desativação da maioria dos microrganismos e é mais acessível financeiramente. A coloração pode afetar o sabor da água caso não seja aplicado corretamente e, isto, causa rejeição dos consumidores (RAID, 2017).
	Filtro doméstico de areia	Consiste em uma barreira sanitária que, caso mal operado, pode fomentar a proliferação de microrganismos na água (RAID, 2017). Deste modo, não é recomendado o uso desse método se não houver uma garantia de operação correta e de algum processo de desinfecção após a filtração (PÁDUA, 2010).
	Filtro doméstico de vela	Consiste em uma barreira sanitária, mas que demanda formas adicionais de tratamento para assegurar a potabilidade da água (RAID, 2017).

Reservação	Cisternas	É um método que possui baixo custo de implantação e, como é instalado na área externa do domicílio, evita o deslocamento dos consumidores para obtenção da água (RAID, 2017).
Distribuição	Chafariz	É um sistema coletivo de pequeno porte que tem como fonte de água poços amazonas e tubulares profundos, rios, riachos, etc. (SILVA,2020). A coleta e transporte da água é realizada pelas pessoas e apresenta potencial risco de desperdício de água e acondicionamento inadequado (RAID,2017).
	Torneiras públicas	A coleta e transporte da água é realizada pelas pessoas de modo que, há maior gasto de tempo para a obtenção de água e limpeza do domicílio. Possui o risco de armazenamento inadequado da água e alteração de sua qualidade (RAID,2017).
	Veículos transportadores	São usados para atender a população que não possui água encanada ou em locais que possuem rede de abastecimento, mas que têm problemas de intermitência (BRASIL, 2006c). Caso não forem bem operados, podem comprometer a qualidade da água (RAID,2017).

Fonte: Autoria Própria (2022).

Um das principais alternativas de abastecimento é a captação de nascentes. Esta solução se dá pela construção de uma estrutura no local de afloramento da água, para evitar contaminação externa, composta por drenos de captação, mangueiras ou tubos de PVC (policloreto de vinila) que direcionam a água captada para algum reservatório e, um dreno para escoar a água não captada de modo a direcionar a água para sua percolação natural no solo (FERNANDES, 2020). Para evitar a contaminação das nascentes utilizadas para captação de água, é importante que elas sejam protegidas de maneira a evitar a entrada de agentes poluidores e possibilitando o acesso a uma água de boa qualidade (ROSA, 2018).

É importante observar que a probabilidade da ocorrência de doenças de veiculação hídrica é mais comum quando se utiliza soluções alternativas pois, muitas delas, não tem o devido controle de potabilidade e técnico necessário – geralmente a água é distribuída diretamente após a captação, sem nenhum processo de desinfecção (MORAIS, 2014). Ainda, algumas soluções apresentam contaminação por estarem próximas a fontes de poluição como fossas, áreas de pastagem ocupadas por animais e locais com utilização de fertilizantes e

agrotóxicos – fontes essas comuns em áreas afastadas do meio urbanizado (FERREIRA, 2008; FERNANDES, 2020). A contaminação pode ocorrer quando a água da chuva ou de irrigação infiltra no solo e arrasta consigo substâncias dissolvidas que podem atingir o lençol freático ou os aquíferos profundos. A origem da contaminação pode ser por bactérias e vírus patogênicos, parasitas, substâncias orgânicas e inorgânicas (FERNANDES, 2020).

Na implantação de soluções independentes, é importante que haja a participação do poder público ou da concessionária de serviços atuante no local para oportunizar a capacitação de pelo menos um representante da população para operar o sistema, como também, a conscientização da população sobre a importância e as vantagens do sistema e do tratamento da água conforme a legislação vigente (MORAIS, 2014). Também, é relevante comentar que as soluções alternativas são um recurso para situações transitórias ou emergenciais e não devem ser entendidas como soluções improvisadas, pois precisam fornecer água com qualidade e em quantidade suficiente de modo a não dispensar o tratamento da água, bem como, o controle da qualidade, a aplicação das normas técnicas e a operação de um agente capacitado (PÁDUA, 2010; RAID, 2017).

2.2.3 Padrões de Potabilidade de água

Morais (2014) comenta que a qualidade da água para consumo pode resultar de diversos fatores como, por exemplo, das condições da água bruta captada, do estado de conservação dos equipamentos, instalações e controle operacional dos processos da unidade de tratamento. No Brasil, a qualidade da água para consumo é seriamente afetada pelos mananciais de captação estarem, em sua grande maioria, com a qualidade comprometida (MORAIS, 2014). Outro aspecto determinante para a qualidade de água é a disponibilidade dela, pois em locais em que há escassez ou o difícil acesso a este recurso pode haver contaminação na coleta, transporte e armazenamento (FERREIRA, 2015). A interrupção do fornecimento de água também é um fator para contaminação nos sistemas de distribuição juntamente com a falta de esgotamento sanitário, ausência ou manutenção inadequada da rede, dos reservatórios e das ligações domiciliares de água. Ainda, nos domicílios, a qualidade pode ser afetada pela ausência de limpeza dos reservatórios (MORAIS, 2014).

Os aspectos relacionados à vigilância da qualidade da água para consumo no país são padronizados pelo Ministério da Saúde (MS). Para auxiliar as ações de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, o Brasil conta com o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIÁGUA) que objetiva garantir acesso à água em quantidade suficiente e qualidade dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos na legislação, assim, visando a promoção da saúde (MORAIS, 2014).

Os padrões de potabilidade da água são estabelecidos pelo Anexo XX da Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021, do Ministério da Saúde, a qual dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ou seja, o documento trata que toda a água destinada ao consumo humano - exceto a água envasada e a água utilizada como matéria-prima para elaboração de produtos- por meio de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, coletiva ou individual, ou por carro-pipa deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água. Desta maneira, esta portaria fixa os valores máximos permissíveis para as características físicas, organolépticas, químicas e bacteriológicas da água potável.

Neste contexto, compete ao responsável pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano exercer o controle da qualidade da água e encaminhar à autoridade de saúde pública dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios relatórios das análises dos parâmetros mensais, trimestrais e semestrais com informações sobre o controle da qualidade da água (BRASIL, 2021). Em Santa Catarina, o Decreto Estadual nº 1.846, de 20 de dezembro de 2018, regulamenta o serviço de abastecimento de água para consumo humano e estabelece outras providências. O Decreto salienta que “todo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano, público ou privado, será submetido à fiscalização da autoridade de saúde em todas as fases do processo de tratamento de água, desde a captação até a distribuição” (Art. 3º, Decreto Estadual nº 1.846/2018).

Com a relevância do uso das águas subterrâneas como fonte alternativa de abastecimento no país, destaca-se a Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008, a qual dispõe sobre as classificações ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá

outras providências. Nesta resolução encontram-se diretrizes para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas para diversos usos, incluso o consumo humano.

2.2.4 Parâmetros de qualidade da água

2.2.4.1 Cor Aparente

A cor aparente é resultante da adição de turbidez na cor verdadeira – causada por material dissolvido e colóides. Nos sistemas de abastecimento de água esse parâmetro tem caráter essencialmente estético visto que a água de cor elevada provoca rejeição por parte dos usuários (BRASIL, 2013). A presença de cor na água não necessariamente indica que ela não está potável, mas sim que está com uma quantidade alta de um elemento orgânico ou mineral. Cor proveniente de fontes naturais, como por meio de ácidos húmicos e fúlvicos provenientes da decomposição de matéria orgânica, não apresenta risco direto à saúde, mas pode gerar suspeitas quanto à sua confiabilidade, o que leva o consumidor a procurar águas muitas vezes com qualidade duvidosa (FERREIRA, 2008; LERVOLINO, 2021).

2.2.4.2 Dureza

A dureza é resultante da medida da capacidade da água em precipitar sabão. Esse parâmetro pode causar sabor desagradável e efeitos laxativos, redução na formação de espuma do sabão o que ocasionada um maior consumo dele e, pode provocar incrustações nas tubulações. A dureza pode ser obtida pela soma das durezas de carbonatos (dureza temporária: resiste à ação dos sabões e provoca incrustações) e de não carbonatos (dureza permanente: presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio; resiste à ação dos sabões, porém não provoca incrustações devido os sais serem solúveis na água) (BRASIL, 2013).

2.2.4.3 Ferro Total

As fontes de ferro são minerais escuros e sua presença, geralmente, não apresenta inconvenientes à saúde. As águas subterrâneas são as que mais estão propensas a concentrações mais elevadas de ferro (BRASIL, 2006a). Para água de consumo, o ferro tem sua quantidade

limitada devido aos problemas estéticos que sua presença em excesso proporciona, como coloração amarelada e sabor amargo e adstringente e, também pode acarretar processos erosivos na tubulação (EMBRAPA, 2011).

2.2.4.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é uma grandeza que varia de 0 a 14 e indica a acidez ($\text{pH} < 7$), neutralidade ($\text{pH} = 7$) ou alcalinidade ($\text{pH} > 7$) de uma solução aquosa, sendo um dos principais parâmetros para a caracterização físico-química da água (EMBRAPA, 2011). Em determinadas condições este parâmetro exerce influência sobre a solubilidade de nutrientes e precipitação de elementos químicos tóxicos. A sua alteração pode ter origem natural (ex.: fotossíntese) ou origem antropogênica (ex.: descarte de efluentes) (LIMA et al., 2018).

2.2.4.5 Sólidos Dissolvidos Totais e Sólidos Suspensos Totais

Os Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) representam a soma das substâncias de natureza orgânica e inorgânica que estão dissolvidas na água. Esse parâmetro é utilizado devido a qualidade estética da água potável (EMBRAPA, 2011). O excesso de sólidos dissolvidos na água pode interferir no sabor e gerar corrosões. Já os Sólidos Suspensos Totais (SST), provocam turbidez na água de modo a interferir na sua estética e na penetração da luz. Ressalta-se que os resultados dos sólidos estão sujeitos a erros em consequência da perda de compostos da água durante os procedimentos (MATIAS, 2019).

2.2.4.6 Turbidez

A turbidez é classificada pela redução na transparência da água causada pela presença de materiais em suspensão (EMBRAPA, 2011; BRASIL, 2013). Também pode ser causada pela presença de algas, matéria orgânica e outras substâncias como ferro, manganês e areia, resultantes de processos naturais ou de efluentes domésticos e industriais. A turbidez tem grande importância na desinfecção da água, pois pode dificultar o processo realizado pelos métodos, seja por desinfetantes ou outros, devido à proteção dada aos microrganismos (BRASIL, 2013).

2.2.4.7 Cloreto, nitrato e sulfato

O cloreto é um dos principais ânions inorgânicos presentes na água e possui concentração maior em águas residuais do que em água bruta (EMBRAPA, 2011). As altas concentrações de cloretos podem causar sabor salgado e efeito laxativo na água, restringindo seu uso (BRASIL, 2013). Ainda, o uso de água com cloreto elevado pode ser prejudicial as canalizações e não é recomendado para a atividade agrícola (MATIAS, 2019).

A ocorrência em quantidade do nitrato é comum em águas superficiais, porém, pode atingir elevadas concentrações em águas subterrâneas (BRASIL, 2013). As principais fontes de nitrato nas águas subterrâneas são de origem antrópica, como a utilização de fertilizantes e insumos nitrogenados e contaminação por descarte de efluente (CAJAZEIRAS,2007). A legislação limita a quantidade de nitrato na água para consumo visto que, em grandes quantidades pode causar metahemoglobinemia e câncer (SUNTTI, 2016).

Já os sulfatos são encontrados em águas naturais devido as fontes de enxofre: decomposição de rochas, chuvas, agricultura (aplicação de adubos contendo enxofre), efluentes industriais, entre outras (BRASIL, 2013). Apresentam-se em pequenas concentrações nas águas subterrâneas (CAJAZEIRAS,2007). A legislação limita a quantidade de sulfato na água para abastecimento, dado que altas concentrações podem causar sabor amargo na água.

2.2.4.8 Parâmetros bacteriológicos

As bactérias coliformes são utilizadas como parâmetro de detecção de contaminação microbiana na água, pois são comumente encontradas no trato intestinal de humanos e animais de sangue quente. Assim, são bons indicadores da eficiência do tratamento e da integridade da qualidade da água nos sistemas de distribuição, pontos de consumo e reservatórios. O grupo coliforme inclui bactérias que não são exclusivamente de origem fecal, as quais podem ter ocorrência natural no solo, água e em plantas (FERREIRA, 2015; BRASIL, 2021). Dessa forma, amostras de água *in natura* em que haja presença de coliformes totais, em especial em baixas densidades, não possui significado sanitário (BRASIL, 2006a). Avalia-se também os coliformes fecais, ou termotolerantes, que correspondem ao subgrupo dos coliformes totais. Este subgrupo tem como principal espécie a *Escherichia coli* (*E. Coli*), de origem

exclusivamente fecal (BRASIL, 2013). Sua análise tem importância mesmo em mananciais bem protegidos visto que pode indicar a contaminação de origem animal com possibilidade de conter agentes patogênicos ao ser humano (BRASIL, 2006a).

2.2.4.9 Indicadores virais

Os vírus são mais resistentes aos processos de desinfecção que bactérias do grupo coliformes, assim a avaliação de indicadores virais torna-se aliada na verificação da potabilidade da água (BRASIL, 2006a). Os bacteriófagos ou fagos são vírus que infectam bactérias e são essencialmente constituídos de material genético e proteínas (SOUSA, 2012). A detecção de bacteriófagos é sugerida como indicador de monitoramento da qualidade virológica da água pela facilidade metodológica da análise e, segundo Tavares, Cardoso e Brito (2007), por poderem estar presentes em fezes humanas e de animais, apresentarem tamanho e morfologia semelhantes às de grupos de vírus entéricos patogênicos, além de possuírem características de sobrevivência e de transporte similares. Cabe ressaltar que há poucos estudos quanto à utilização virológica da água destinada ao consumo humano de modo que, não há um padrão estabelecido para avaliação no Brasil (TAVARES; CARDOSO; BRITO, 2007).

2.3 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM TERRAS INDÍGENAS

2.3.1 Legislações e competências

A Fundação Nacional do Índio (FUNAI) foi criada, em 1967, por meio da Lei nº 5.371, como órgão indigenista oficial do Estado brasileiro a fim de estabelecer diretrizes e garantir o cumprimento da Política Indigenista do Governo Federal, protegendo e promovendo os direitos dos povos indígenas no país (BRASIL, 1967). Contudo, somente em 1988 com a Constituição Federal, que os direitos indígenas às suas terras, políticas sociais diferenciadas e adequadas às especificidades culturais, auto representação jurídico-política e a preservação de suas línguas e culturas foram reconhecidos (GARNELO; PONTES, 2012 *apud* SILVA; DOURADO, 2019).

A responsabilidade pela saúde indígena foi passada para a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) pelo Decreto Federal nº 23 em 1991. Em 1994, o Decreto nº 1.141 instituiu

a Comissão Intersectorial de Saúde (CIS), sob responsabilidade da FUNAI, de maneira a devolver as atribuições da saúde indígena para a fundação (SILVA; DOURADO, 2019). Todavia, em 1999, o Ministério da Saúde instituiu o Decreto nº 3.156 que dispõe sobre a prestação de assistência à saúde indígena, no âmbito do SUS, pelo Ministério da Saúde, com intuito de transferir as responsabilidades novamente à FUNASA. No mesmo ano, pela Lei Federal nº 9.836, foi instituído o Subsistema de Atenção à Saúde Indígena como componente do SUS e criado oficialmente os Distritos Sanitários Especiais Indígenas (DSEIs) (SILVA; DOURADO, 2019). Os DSEIs são:

[...] unidades gestoras descentralizadas do Subsistema responsável pela execução de ações de atenção à saúde nas aldeias e de saneamento ambiental e edificações de saúde indígena, divididos por critérios territoriais, tendo como base a ocupação geográfica das comunidades indígenas (GARCIA JR; RIVOREDO; FLUMIAN, 2016).

Cada DSEI possui microrregiões de Saúde denominadas polo-base, que abrange um conjunto de aldeias e tem a finalidade de atender as demandas de saúde e saneamento das comunidades indígenas envolvidas (DMQAI, 2014).

Em 2002, com a criação do Departamento de Saúde Indígena (DESAI), a FUNASA assumiu definitivamente as atribuições sobre a saúde indígena e, redefiniu os DSEIs conforme a sua denominação, vinculação administrativa e jurisdição territorial, além de sede, população, etnias e casa do índio (BORGES; OLIVEIRA, 2016 *apud* SILVA, 2020; DOURADO, 2019). No mesmo ano, a Portaria nº 254 aprovou a Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas, a qual estabelece as prioridades ambientais para a política de atenção à saúde indígena contemplando “a preservação das fontes de água limpa, a construção de poços ou a captação de água superficial” (DMQAI, 2014). Ademais, a Lei Federal nº 11.445, de janeiro de 2007, dispõe sobre as diretrizes nacionais para o saneamento básico e destaca como um objetivo da Política Federal de Saneamento Básico, no inciso III do Art. 49º, “proporcionar condições adequadas de salubridade ambiental aos povos indígenas e outras populações tradicionais, com soluções compatíveis com suas características socioculturais” (BRASIL, 2007).

A partir de 2010, por meio da Lei nº 12.314, âmbito do Ministério da Saúde, foi instituída a Secretaria Especial de Saúde Indígena (SESAI), responsável por executar com maior eficácia a Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas. Entre as competências da SESAI está a vigilância e o controle da qualidade da água, a qual possui caráter contínuo e prioritária para a promoção da saúde das comunidades indígenas (DMQAI, 2014).

Esta Secretaria é composta pelo Departamento de Atenção à Saúde Indígena; Departamento de Determinantes Ambientais da Saúde Indígena; e pelos Distritos Sanitários Especiais Indígenas (SILVA, 2020). No Brasil, atualmente, há 34 DSEIs sendo o Distrito Sanitário Especial Indígena Interior Sul (DSEI ISUL) a unidade gestora que abrange os estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em suas regiões mais a oeste (GARCIA JR; RIVOREDO; FLUMIAN, 2016).

Nas Terras Indígenas, as ações de saúde são aplicadas na prática pelos Agentes Indígenas de Saúde (AIS), Agentes Indígenas de Saneamento (AISAN) e equipes compostas por médicos, enfermeiros, odontólogos, auxiliares de saúde bucal e técnicos em enfermagem (SILVA, 2020). O AIS e o AISAN são selecionados pelas comunidades e treinados para auxiliar e efetivar as ações e serviços de saúde nos DSEIs – com maior facilidade, pois possuem maior conhecimento do universo mitológico e cultural indígena (SILVA, 2020). Em específico, o AISAN, é responsável por operar os equipamentos de desinfecção e realizar análises de cloro residual; informar os resultados das análises de água aos técnicos de saneamento e à equipe de monitoramento da qualidade da água; comunicar aos técnicos responsáveis mediante a qualquer não conformidade em relação às características da água distribuída; operar e manter os sistemas de abastecimento de água em funcionamento, com apoio do técnico de saneamento; informar e esclarecer a comunidade indígena sobre a importância do tratamento de água de modo a garantir a qualidade e segurança da água consumida (DMQAI, 2014).

No contexto da Portaria GM/MS nº 888/2021, em seu Art. 9º, compete a SESAI a responsabilidade de planejar, coordenar, supervisionar, orientar, monitorar e avaliar as ações desenvolvidas nas aldeias indígenas, incluindo o estabelecimento de diretrizes para as ações da qualidade da água para consumo humano a serem implementadas pelos respectivos DSEIs, incluindo a execução do Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano em Aldeias Indígenas (MQAI). Ainda, segundo o Art. 10º, compete à FUNASA apoiar as ações de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, de forma articulada com seus respectivos responsáveis, conforme os critérios e parâmetros estabelecidos na portaria e, por fim, conforme o inciso XIII do Art. 13º, concerne as Secretarias de Saúde dos Municípios e do Distrito Federal a realização das ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2021).

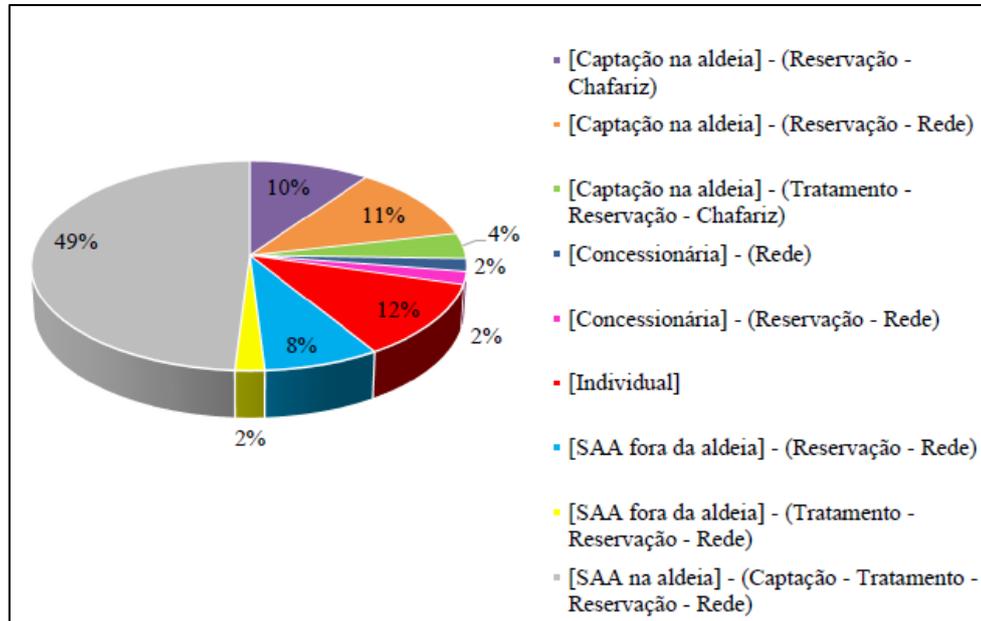
2.3.2 Abastecimento de água em Terras Indígenas no Brasil e em Santa Catarina

A realização do I Inquérito Nacional de Saúde e Nutrição Indígena, entre os anos de 2008 e 2009, segundo Coimbra Jr. (2014) “[...] constitui um importante marco da saúde coletiva brasileira por ser a primeira iniciativa do gênero que almejou uma amostra representativa da população indígena no país”. O Inquérito Nacional foi realizado pela FUNASA com apoio da Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva (ABRASCO) e financiamento do Banco Mundial, a fim de caracterizar a situação nutricional de mulheres entre 14 a 49 anos de idade e crianças menores de 5 anos, em uma amostra representativa da população indígena residente em um conjunto de 113 aldeias no Brasil (FUNASA, 2009).

Os resultados do Inquérito Nacional mostraram que muitas aldeias não possuem rede de água encanada e, por isso, captam água de cacimba, chuva, igarapés e rios. Nas aldeias em que há rede de distribuição de água, a pesquisa indicou que a manutenção do sistema é deficiente e, ainda, há aldeias em que o processo de implantação da rede é inconcluso. (FUNASA, 2009). Quanto a origem da água para consumo, a maior parte dos domicílios indígenas utilizam fontes locais e sem indicação de qualquer tratamento prévio. Cerca de 55% das aldeias usam poço artesiano como fonte de abastecimento (FUNASA, 2009). No entanto, conforme Coimbra Jr. (2014), mesmo a aldeia dispor de um poço artesiano a água nem sempre chega às bicas coletivas/privadas. Quanto ao tratamento da água, menos de 70% dos domicílios indicaram usar algum tipo de tratamento sendo que, 28,8% decantam/coam a água, 18,4% filtram, 16,8% utilizam hipoclorito de sódio e 3,9% fervem a água (FUNASA, 2009).

Em sua avaliação da situação de saneamento das aldeias indígenas em Santa Catarina, Silva (2020) apurou, a partir de dados obtidos com o DSEI-ISUL, informações de 51 comunidades indígenas do estado – contemplando uma população de cerca de 10.449 pessoas das etnias Guarani, Kaingang e Xokleng. A autora observou que, do total de aldeias estudadas, 88% contam com um sistema de abastecimento de água, sendo que em apenas 4% das aldeias a água é proveniente das redes de concessionárias. O restante (84%) faz o uso de soluções alternativas coletivas. De acordo com a Figura 2, em 51% das aldeias analisadas possuem sistema de abastecimento constituído por captação, armazenamento, tratamento e rede de distribuição de água, e 14% das aldeias são abastecidas por chafarizes (SILVA, 2020).

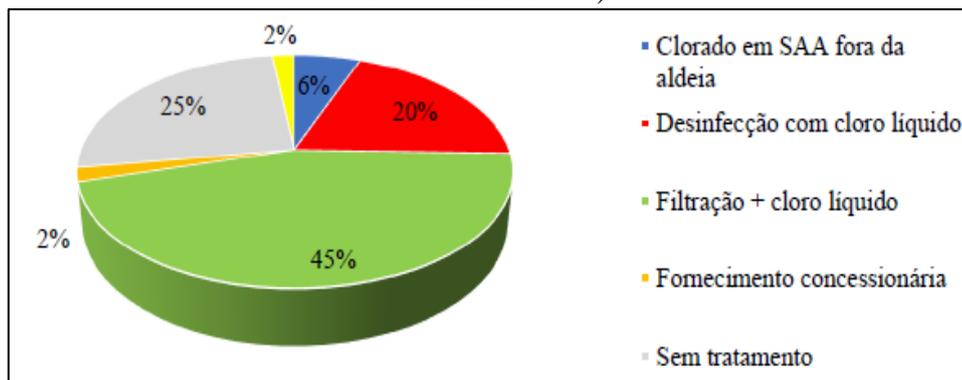
Figura 2 - Resumo do fornecimento de água nas aldeias indígenas de Santa Catarina (amostra de 10.449 indivíduos).



Fonte: Silva (2020).

Em relação ao tratamento de água, Silva (2020) apontou que o método mais utilizado, entre as aldeias que realizam o processo de tratamento, é a filtração seguida por desinfecção por cloração, conforme demonstrado na Figura 3. O tipo de filtro mais utilizado é o de pressão, pelo tratamento com o filtro lento.

Figura 3 - Tipo de tratamento de água nas aldeias indígenas de Santa Catarina (amostra de 10.449 indivíduos).

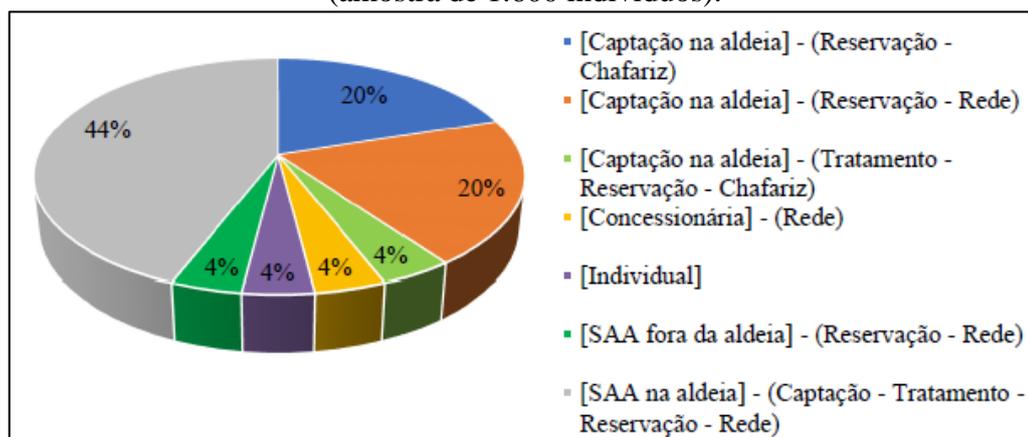


Fonte: Silva (2020).

O uso de somente cloro é presente em cerca de 25,5% das aldeias. No entanto, há aldeias que não se adaptaram com o seu uso devido ao sabor conferido a água, principalmente em casos de mal dimensionamento. Assim, as aldeias que possuem tal solução não a utilizam ou não executam medidas de manutenção deste tipo de tratamento. Ainda, a pesquisa aponta que cerca de 7,84% das aldeias tem seu sistema de tratamento, seja ele de desinfecção e/ou filtração, danificado e, como observado na Figura 3, cerca de 25% das aldeias, não possuem nenhum tipo de tratamento de água para consumo humano (SILVA, 2020).

Em relação as aldeias Guarani de Santa Catarina, Silva (2020) apontou que 96% são abastecidas com água, porém 44% não possuem um sistema definitivo – isto é, não há a execução de todos os componentes do sistema: captação, tratamento, armazenamento e rede de distribuição da água. A Figura 4 mostra o resumo dos tipos de sistema de abastecimento de água nas aldeias Guaranis.

Figura 4 - Resumo do abastecimento de água nas aldeias Guaranis em Santa Catarina (amostra de 1.600 indivíduos).



Fonte: Silva (2020).

Entre as fontes de abastecimento, 71% são provenientes de manancial superficial e 30% de subterrâneo. A distribuição é feita por rede coletora em 64% das aldeias, por chafariz (uso coletivo) em 24% e de maneira individual em 12%. Cerca de 20% das aldeias não fazem uso de tratamento de água e, das que fazem, 60% usam filtração e cloração. Apenas 8% utilizam a desinfecção com cloro, 8% somente filtração e, 4% possuem água tratada com cloro em um SAA fora da aldeia (SILVA, 2020).

2.4 POPULAÇÕES INDÍGENAS MBYÁ-GUARANI

2.4.1 Aspectos Mbyá – Guarani

Segundo o último Censo realizado pelo IBGE em 2010, 896.917 pessoas se declaram indígenas no Brasil, sendo que 87,7% delas vivem em Terras Indígenas (TIs) oficialmente reconhecidas. Em Santa Catarina, segundo a Base de Informações sobre os Povos Indígenas e Quilombolas (BRASIL, 2019), a população indígena total é de 18.213 pessoas, 50,66% delas vivem em Terras Indígenas (TIs) homologadas. Essa população, conforme a Secretaria Especial de Saúde Indígena, é encontrada nos municípios de Abelardo Luz, Araquari, Balneário Barra do Sul, Biguaçu, Canelinha, Chapecó, Entre Rios, Garuva, Imaruí, Ipuacu, José Boiteux, Major Gercino, Palhoça, Porto União, São Francisco do Sul, Seara e Vitor Meireles (SILVA, 2020). As etnias indígenas encontradas em Santa Catarina são a Guarani, Kaingang e Xokleng, as quais ocupam a regiões litorânea, oeste e centro-norte do Estado, respectivamente (BRIGHENTI, 2013; GARCIA JR; RIVOREDO; FLUMIAN, 2016). Segundo Garcia Jr, Rivoredo e Flumian (2016), estudos arqueológicos mostraram que os Kaingang e os Xokleng teriam sido os primeiros grupos a ocupar Santa Catarina e, posteriormente, os Guaranis passaram a residir no Estado

O Povo Guarani foi pacífico e acolhedor ao receber os povos não indígenas, mas sofreram com a chegada de conquistadores europeus, a partir de 1530, os quais movimentaram o processo de dizimação e extermínio das populações indígenas em diversas esferas sociais (MILHEIRA, 2010, p.141-142 *apud* BATISTA, 2017). Os Guaranis foram disputados por escravocratas e jesuítas nos séculos XVI e XVII e estimados, em aproximadamente 2 dois milhões de pessoas, quase cem mil no litoral catarinense. No entanto, foram praticamente exterminados. Então, ao entender que os conquistadores não eram confiáveis, os Guaranis optaram pelo distanciamento preferindo as matas e as migrações de maneira a zelar por sua cultura e modo de viver (BATISTA, 2017).

Os Guaranis são considerados um dos povos mais presentes no continente sul-americano mais especificamente nas regiões de fronteiras entre Brasil, Argentina, Bolívia e Paraguai. (SILVA, 2020). A ocupação Guarani tradicional é dinâmica e caracterizada pela

“*Oguata*” (caminhar ou andar) que está presente no cotidiano cultural e na cosmologia desse povo. A caminhada pode ser caracterizada pela busca por atividades produtivas, coletas de ervas, participação em festas e rituais, visitas ou busca de trabalhos, de novas experiências e conhecimento – sendo este uma característica das caminhadas dos jovens (COLMAN; AZEVEDO; ESTANISLAU, 2017).

O violento processo de colonização resultou na perda dos territórios correspondentes à localização original deste povo e restringiu as áreas disponíveis para os tradicionais deslocamentos espontâneos. Houve, também, o desaparecimento significativo desta população e, para os que restaram, a solução imposta foi a alocação em reservas superpovoadas em situação de extrema pobreza e exclusão social (SILVA, 2020). Atualmente, os Guaranis vivem em TIs em grande maioria ainda sem demarcação regularizada pelo Estado de modo a tornar vulnerável a permanência dos povos nesses locais (BRIGHENTI, 2013).

Colman, Azevedo e Estanislau (2017), afirmam que a mobilidade espacial também pode ocorrer quando a mata está sendo destruída, ou seja, quando há destruição e interferência externa nos refúgios florestais, a população indígena se vê forçada a abandonar a terra e procurar um novo espaço para viver. Neste contexto, Batista (2017) ressalta que da década de 1970 até hoje, as migrações do povo Guarani, em Santa Catarina, aumentaram devido ao intenso desmatamento da Mata Atlântica. Desta maneira, as condições fundiárias e ambientais atuais das Terras Indígenas refletem situações de risco que envolvem aldeias localizadas em áreas de domínio público e nas margens de rodovias, outras que enfrentam situações de conflitos com pessoas que dizem ser as proprietárias do terreno e não admitem a presença indígena, aldeias que permanecem de favor em terras alheias e, ainda, as aldeias que estão localizadas em unidades de conservação ambiental (BATISTA, 2017).

Especialmente com a perda dos territórios tradicionais, grandes mudanças culturais aconteceram nas aldeias Guaranis devido a constante mudança e separação dos grupos familiares que antes viviam juntos (GUEROLA, 2018 *apud* SILVA, 2020). Uma das poucas práticas culturais que ainda permanecem é a da agricultura que mesmo com as dificuldades de plantio e as mudanças culturais vividas, mantém-se como viva e sendo a essência da cultura do povo Guarani (DARELLA, 2004 *apud* SILVA, 2020).

O grupo Guarani pertence ao tronco linguístico Tupi e à família linguística Tupi Guarani, podendo ser classificados linguisticamente como Mbyá, Nhandeva/Xiripa e Kaiova (RODRIGUES, 1996 *apud* BRIGHENTI, 2012; LADEIRA, 2001). No Brasil, o grupo Mbyá-Guarani está presente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo (BRIGHENTI, 2012; GABRIEL; SILVA, 2019).

Os elementos culturais considerados importantes pelos Mbyás são, segundo Darella (2000 *apud* Silva, 2020), a organização social, a cosmologia, a economia e a territorialização. A regularização das áreas ocupadas pelos Mbyás, no litoral brasileiro, iniciou em 1979 por meio de projetos criados pelo Centro de Trabalho Indigenista (CTI). Isto se deu, prioritariamente, nas aldeias do litoral de São Paulo e Rio de Janeiro por conta da especulação imobiliária e turística e da construção da rodovia Rio-Santos. Então, posteriormente, os projetos de demarcação foram voltados para as aldeias do Paraná e Santa Catarina – as quais foram impactadas pela duplicação da rodovia BR 101 do litoral sudeste e sul (LADEIRA, 2001 *apud* QUILLFELDT, 2021).

Conforme Batista (2017), os Mbyás procuram formar as suas aldeias (*Tekoás*) com base em seus princípios culturais e míticos que servem de alicerce para sua relação com a Mata Atlântica, pois esta possibilita as práticas simbólicas que condicionam sua sobrevivência. Essas práticas vão do uso das plantas desse bioma para os rituais como, também, para alimentação, uso medicinal, construção de moradias e expressão artística-cultural (BATISTA, 2017). Os Mbyá evitam interferir na natureza a sua volta desnecessariamente, pois ela faz parte do domínio da humanidade e da divindade (GABRIEL; SILVA, 2019). Para o pesquisador e antropólogo Martín César Tempass (2016, p. 6), os núcleos das *Tekoás* Mbyá-Guarani são considerados como “ilhas” distribuídas sobre um vasto território e próximas aos cursos de água, pois os próprios Mbyá falam não haver *Tekoá* sem “boas águas” (*apud* GABRIEL; SILVA, 2019).

2.4.2 Tekoá V'ya (Aldeia Feliz)

A *Tekoá V'ya*, ou Aldeia Feliz, está localizada em uma área rural no município de Major Gercino, na localidade de Água Claras, região Noroeste da Grande Florianópolis, em Santa

Catarina. As terras para alocação da aldeia foram adquiridas, em 2007, com recursos da indenização pela desapropriação das terras da Tekoá Itaty, situada no Morro dos Cavalos, Palhoça/SC. O recurso foi advindo do convênio entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a FUNAI a partir da duplicação da BR-101 trecho Palhoça (SC) – Osório (RS). Em 2009, treze famílias entre as que residiam na aldeia Tekoá Itaty, se mudaram para as terras compradas em Major Gercino formando, assim, a Tekoá V'ya. Algumas famílias permaneceram na antiga localidade, no Morro dos Cavalos, e ainda aguardam pela indenização (GABRIEL; SILVA, 2019).

As famílias que vivem na *Tekoá V'ya* ainda esperam pelas melhorias prometidas pelo governo, como a construção de uma escola pela Conselho Estadual de Educação, instalação de redes elétrica e de um consultório para atendimento à saúde, além de melhorias no abastecimento de água. Atualmente, estão sendo construídos uma cozinha e um banheiro de alvenaria que atenderão as instalações da escola a ser construída. Ressalta-se que a aldeia não faz parte do Programa Básico Ambiental da Autopista Litoral Sul de maneira a não participar dos projetos e ações que ocorrem junto as demais aldeias da região (QUILLFELDT, 2021).

A família com mais conhecimentos sobre os costumes Mbyá-Guarani presente na aldeia é a do Cacique Arthur Benite (werá mirim) e Maria Campo (pará retê) com seus filhos/as, genros, noras, netos/as e bisnetos/as. Segundo a descrição da entrevista feita por Gabriel e Silva (2019), Arthur Benite relata sobre a necessidade de “[...] a área do tekoá seja produtiva, que se amplie o conhecimento sobre a plantação, sobre as sementes, as influências da lua e a água deve ser limpa.”. O Cacique também relata que os Mbyá estão passando por mudanças em seus hábitos e consumos de tal forma que ele sente uma mudança na cultura e na maneira em que os indígenas vivem devido ao contato com a vivência urbana - impactos diretos devido o contato com a alimentação industrializada, outros agentes externos religiosos, na área de saúde, na educação e com o sistema social envolvente (GABRIEL; SILVA, 2019).

Para o Cacique, os dois aspectos primordiais para a manutenção das tradições e costumes são a reza e a terra. Nesta última há necessidade de água, tanto para consumo quanto para banho e pesca; de mata para caça, plantas medicinais, plantio de alimentos e barro e madeira para a construção de casas. Ainda, Gabriel e Silva (2019), destacam que uma aldeia pode ser estabelecida como *tekoá* apenas se for a partir de uma “base”, na qual a terra é a própria

estrutura do mundo. Em relação a reza, é na *opy* (casa de reza) que há a troca de saberes e aprendizados para fortalecer o grupo e, a realização de rituais espirituais religiosos. O Cacique afirma que os jovens Guaranis estão optando pela vivência do povo da cidade e, assim, abstando-se de frequentar a casa de reza que, por consequência, deixa de manter os costumes e tradições do povo Guarani (GABRIEL; SILVA, 2019).

A principal fonte de renda da comunidade é a venda de artesanato. A agricultura é utilizada para subsistência da comunidade e aos poucos está sendo explorada como fonte de renda. Algumas pessoas executam trabalhos de mão de obra externa à aldeia, algumas famílias recebem auxílio do governo com base em critérios de condições sociais iguais aos demais brasileiros e os aposentados recebem aposentadoria indígena, a qual corresponde por idade e não por tempo de trabalho. Ainda, a aldeia recebe professores, merendeiros e faxineiros contratados pela Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina (SED/SC) e agentes de Saúde e Saneamento contratados por meio da SESAI (QUILLFELDT, 2021).

2.5 TECNOLOGIAS SOCIAIS

Segundo o Instituto de Tecnologia Social, Tecnologias Sociais (TS) são um “conjunto de técnicas e metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para inclusão social e melhoria das condições de vida” (ITS, 2007). E, especificamente, tecnologia social de acesso à água, conforme o Decreto nº 9.606/2018, Art. 2º, inciso V, é definida como um “conjunto de técnicas e de métodos aplicados para a captação, o armazenamento, o uso e a gestão da água, desenvolvidos a partir da interação entre o conhecimento local e técnico, apropriados e implementados com a participação da comunidade” (BRASIL, 2018).

As TS oferecem a possibilidade de auxiliar na melhora da qualidade de vida dos grupos mais vulneráveis da população de modo que o foco é a eficácia e a relevância social que são proporcionadas quando a tecnologia é apresentada como uma solução (FERREIRA, 2015; ITS, 2007). Deste modo, é considerada uma tecnologia social a solução em que o ponto de partida é o problema social e introduz ou gera inovação nas comunidades, possibilita uma metodologia participativa e democrática, impulsiona a disseminação e replicação da solução trazendo

autonomia as comunidades, envolve os saberes científicos com os populares e, por fim, tem relevância social nos aspectos de ser eficaz na resolução do problema, propor sustentabilidade ambiental e gerar transformação social (ITS, 2007).

2.5.1 Tecnologias aplicadas na aldeia Tekoá V'ya (Aldeia Feliz)

Em estudo, Quillfeldt (2021) elaborou um diagnóstico do saneamento na Tekoá V'ya e por meio de uma avaliação de um conjunto de critérios técnicos, sociais e econômicos propôs soluções para a melhoria dos sistemas existentes na aldeia. Para o âmbito do abastecimento de água, a melhor alternativa apontada foi a utilização da Proteção de Fonte Modelo Caxambu nas nascentes, e, para a desinfecção a solução escolhida foi a Aqualuz®.

2.5.1.1 Proteção de Fonte Modelo Caxambu

Segundo Almeida (2015), determina-se “nascente ou fonte o ponto em que o lençol freático está emergindo para a superfície, ou seja, o espaço onde existe o afloramento de água para a superfície”. Para uma nascente ser eficiente em termos de qualidade e quantidade de água para consumo, ela deve estar protegida, pois pode carregar poluentes como sedimentos com excesso de nutrientes, resíduos de agrotóxicos e contaminação por efluentes (ALMEIDA, 2015). Também, é importante conservar a vegetação nas encostas e mata ciliar para conservação o ciclo da água e proteger o solo.

Com objetivo de preservar as nascentes e a vegetação do entorno, bem como garantir o fornecimento de água de qualidade, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) desenvolveu a tecnologia social Proteção de Fonte Modelo Caxambu (Figura 5). Esta tecnologia surgiu no final da década de 1980, no município de Caxambu do Sul, em Santa Catarina. Foi um estudo desenvolvido entre extensionistas da EPAGRI, o geólogo Mariano José Smaniotto, a prefeitura local e agricultores (EPAGRI, 2021).

Figura 5 - Proteção Fonte Modelo Caxambu.



Fonte: Epagri Videos (2015) ².

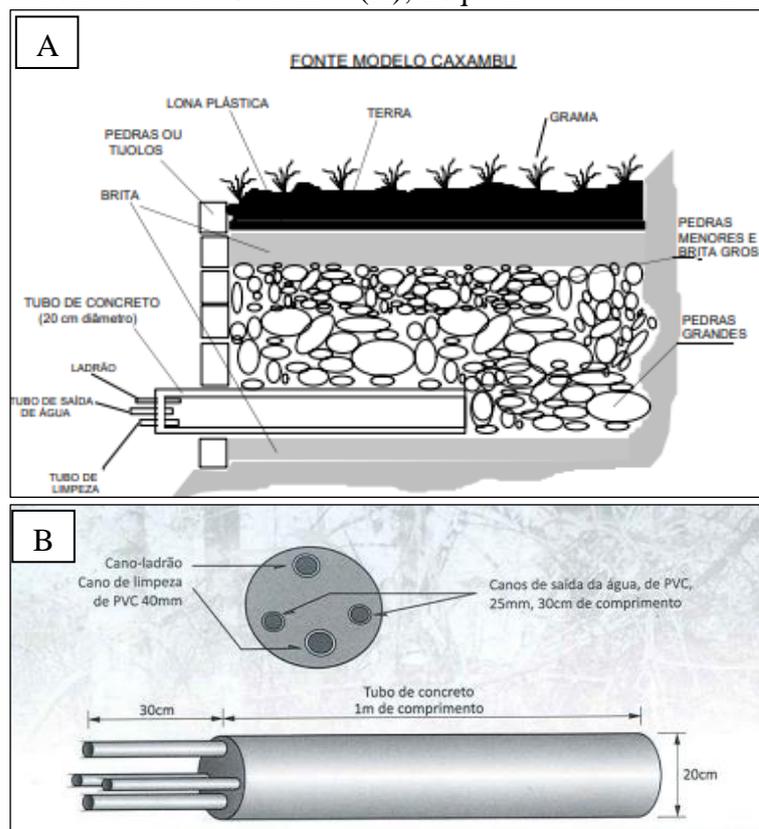
A TS apresenta baixo custo de construção e manutenção, uma vez que a nascente fica completamente lacrada, e permite um maior aproveitamento do manancial de água. Conforme relata a extensionista da EPAGRI, Cristiane Lopes Couto, a tecnologia:

[...] é capaz de melhorar consideravelmente as condições das nascentes, além de influenciar positivamente a disponibilidade e a potabilidade da água na propriedade [...], também diminui a turbidez da água em épocas de chuva, evita o acesso de animais à fonte e diminui a possibilidade de contaminação bacteriológica, melhorando as características físico-químicas da água (EPAGRI, 2021).

O sistema (Figura 6) constitui-se de um tubo de concreto contendo quatro saídas: duas para a captação de água, uma para limpeza e outra com função de ladrão para dar vazão à água em caso de chuvas intensas. O material sugerido para essas tubulações é o PVC (EPAGRI, 2021). O tubo deve ser assentado no fundo de uma vala aberta no local da nascente, com o lado aberto virado para a vala e o lado parcialmente fechado para o lado exterior. Acima, deve-se colocar uma camada de pedra-ferro até cobrir totalmente a estrutura. Então, na sequência, coloca-se três camadas de cascalho, brita e terra. Para a vedação, utiliza-se lona plástica ou saco de ráfia e, completa o local com terra até atingir o nível original do solo.

² Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=w2oe6LGUD58>

Figura 6 – Fonte Modelo Caxambu (A); Esquema do tubo de concreto (B).



Fonte: Freitas; Eckert; Caye (2001); Epagri (2017).

Conforme recomendações da EPAGRI, a área de entorno deve ser isolada com uma cerca e mantida com vegetação para garantir com que a água captada seja de qualidade (EPAGRI, 2021). Ainda, deve-se deixar um tubo de PVC, sempre tampado, posicionado no ponto mais alto da fonte protegida para a manutenção. Esta consiste na desinfecção da fonte com 1 litro de água sanitária por ao menos duas vezes ao ano (TSGA, 2015).

Rosa (2018), em seu estudo de implantação da Proteção de Fonte Modelo Caxambu, observou que depois da conclusão da proteção da fonte houve diminuição na turbidez da água devido à proteção ao contato direto de espécies de animais e materiais orgânicos. Em um estudo realizado no município de Chapecó, foi analisado que, com o uso da tecnologia em questão, a concentração média de coliformes fecais na água baixou de 40,9 NMP/100 ml para 13 NMP/100 ml e a turbidez baixou de 355 uT para 42 UT (BASSI, 1998 *apud* COMASSETTO et al., 2011). Já Baldissera (2003), comparou a qualidade da água em fontes protegidas e não protegidas em dois municípios similares e verificou que houve uma redução no parâmetro de

coliformes fecais na faixa de 33,1% a 49,9% (*apud* COMASSETTO et al., 2011). Ainda, no Oeste de Santa Catarina, o estudo feito por Suntti (2016) mostrou que nas fontes com proteção sistema Caxambu houve uma contaminação bacteriológica menor em relação as sem proteção.

Comassetto et al. (2011), avaliou, em 21 municípios do Oeste Catarinense, a qualidade da água de fontes protegidas pelo modelo Caxambu amostradas sob duas condições de regime de chuva – dias sem chuva (tempo seco) e após a ocorrência de eventos chuvosos (tempo úmido). Os resultados mostraram que os indicadores que mais contribuíram no comprometimento da qualidade da água foram os de coliformes totais e fecais e a turbidez. Segundo os autores, os valores obtidos referentes ao período seco foram inferiores aos obtidos no tempo úmido de modo a sugerir influência do escoamento superficial, o qual transporta os nutrientes e contaminantes para a água da fonte, associado a falta de proteção nas áreas próximas a fonte. Deste modo, para que a tecnologia tenha a eficiência esperada é importante que medidas complementares, como vegetação e cercas, sejam adotadas. Ainda, é importante que sejam criadas barreiras físicas para desviar o escoamento de água podendo ser canais divergentes ou cordões vegetados (COMASSETTO et al., 2011).

A TS oferece uma qualidade físico-química da água boa e, em especial, percebe-se que o parâmetro de turbidez da água diminui. Porém, ainda há a possibilidade da presença de coliformes fecais de modo que se faz necessário que um tratamento adicional como a desinfecção (TSGA, 2015).

2.5.1.2 Aqualuz®

A desinfecção é uma das etapas mais importantes de um sistema de abastecimento de água, pois é onde ocorre o tratamento para tornar a água potável. Essa etapa tem como objetivo destruir os microrganismos patogênicos presentes na água, garantindo a qualidade microbiológica desta, mas sem agir sob contaminantes de origem química (HELLER, 2010). De acordo com Heller (2010), a eficiência da desinfecção depende da baixa concentração de sólidos dissolvidos e turbidez reduzida.

O processo pode ser realizado por agentes químicos, como o cloro e seus compostos, e físicos relacionados à energia da radiação – radiação ultravioleta, radiação solar ou fervura

(OLIVEIRA, 2014 *apud* VIEIRA et al., 2018). Para a desinfecção de água por radiação solar, o método utilizado é o SODIS (*Solar water DISinfection*), o qual consiste na exposição da água ao sol em recipientes que permitam a passagem da radiação - sendo as garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) as mais utilizadas. O tratamento utiliza dois componentes da luz solar para a desinfecção, a radiação UVA e a radiação infravermelha. Esta última favorece o aumento da temperatura da água em valores superiores ao tolerável pelos microrganismos e, assim, causa a morte deles. Já a radiação UVA tem função de destruir o DNA do patógeno de maneira a ter efeito germicida. O uso combinado desses componentes aumenta a eficiência de inativação de bactérias e vírus encontrados na água (CAVALLINI et al., 2018; PEREIRA *et al.*, 2014).

A eficiência do método tem grande relação com a quantidade de luz solar disponível na região de aplicação, pois a distribuição da radiação solar é desigual ao redor do mundo e varia em intensidade de região para região durante as estações do ano, latitude e tempo do dia (VIEIRA et al., 2018). É necessário também avaliar a eficiência do método de acordo com as variações decorrentes dos períodos do dia e das estações do ano, conforme as características climáticas do local de implantação (CAVALLINI et al., 2018). De acordo com Sommer (1997), para eficiência do método a água deve ter turbidez menor que 30 NTU (Unidade de Turbidez), isso pois as partículas que ficam suspensas na água diminuem a incidência de radiação solar e, assim, protegem os microrganismos de serem destruídos (*apud* VIEIRA et al., 2018).

Neste contexto, no ano de 2019 uma estudante brasileira ganhou o prêmio Jovens Campeões da Terra, da ONU, por desenvolver uma tecnologia de tratamento de água que usa a radiação solar para a desinfecção da água e possui eficiência de 99,9% na eliminação das bactérias (ONU News, 2019). A tecnologia chama-se Aqualuz® (Figura 7) e a detentora e responsável pela produção, venda e instalação é a *startup Sustainable Development & Water For All* (SDW), um negócio de impacto socioambiental reconhecido pela ONU. O equipamento foi desenvolvido para o tratamento de águas de cisternas de captação de água da chuva em regiões rurais, com foco nas zonas de clima quente do semiárido (SDW, 2021). Segundo a SDW (2021), a tecnologia trata 10 litros de água pelo valor de R\$ 0,04.

Figura 7 - Equipamento Aqualuz®.



Fonte: SDW (2021b).

A Aqualuz® utiliza o conceito do método SODIS adaptado e consiste em um pequeno reservatório de aço inox com tampa de vidro comum, de espessura igual a 3 mm, que permite a exposição da água ao sol para, em poucas horas e em dias de sol, deixar a água potável. A tecnologia não necessita do uso de produtos químicos, energias ou filtros, e possui vida útil estimada em 20 anos com manutenção baseada na lavagem com água e sabão semanalmente (SDW, 2021). O dispositivo tem capacidade de 10 litros e pode tratar até 30 litros de água por dia, dependendo do ciclo de uso que varia de 3 a 4 horas ou, conforme as características de radiação solar do local de instalação. Tem estimativa de instalação de 10 minutos e pode ser utilizado de maneira fixa ou portátil, conforme a preferência do usuário. A tecnologia conta com um sensor que muda de cor de preto para vermelho, sinalizando que a água está pronta para ser retirada. O fabricante ressalta que o sensor funciona apenas como um indicador indireto de modo que é recomendado deixar a água exposta diretamente ao sol por ao menos 1 hora após a mudança de cor do sensor (SDW, 2021).

Como o fator principal para a eficiência da tecnologia é o sol, em dias nublados o equipamento ainda pode ser usado, porém, é indicado aumentar o ciclo para 5 a 6 horas. No caso de dias chuvosos o tratamento não é efetivo. Deste modo, recomenda-se o armazenamento da água tratada com a Aqualuz® em dias de sol e o uso de outros métodos de tratamento, como filtro de barro, fervura ou até mesmo a cloração (SDW, 2021).

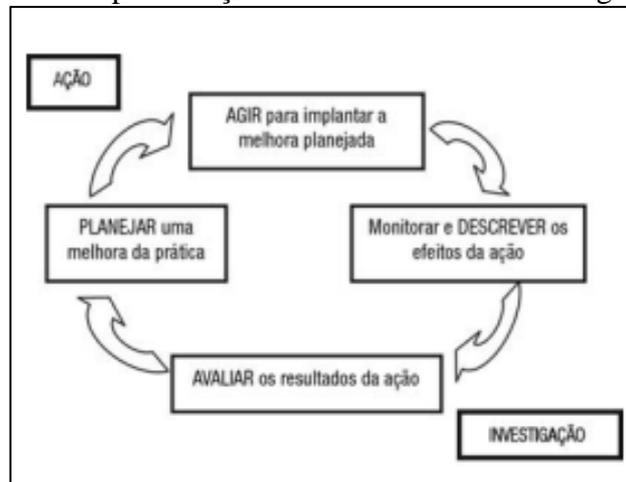
2.6 PESQUISA-AÇÃO

A pesquisa-ação, ou investigação-ação, é um tipo de pesquisa de caráter qualitativo de maneira em que se investiga uma ação baseando-se em uma autorreflexão coletiva. Thiollent (2011, p.20) define pesquisa-ação como

um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (apud PICHETH; CASSANDRE; THIOLENT, 2016).

A metodologia, segundo Tripp (2005), segue um ciclo básico com quatro fases: planejamento, implementação, descrição e avaliação da mudança adotada para melhorar a prática (Figura 8). Essa metodologia segue a prática e não descarta a tentativa de avaliar a mudança por não dispor de dados adequados, visto que a pesquisa-ação ocorre em cenários sociais não controlados. Deste modo, deve-se buscar julgamentos baseados na melhor evidência que seja possível produzir para obter reflexões críticas sobre a ação executada (TUMELERO, 2019).

Figura 8 - Representação do ciclo básico de investiga-ação.



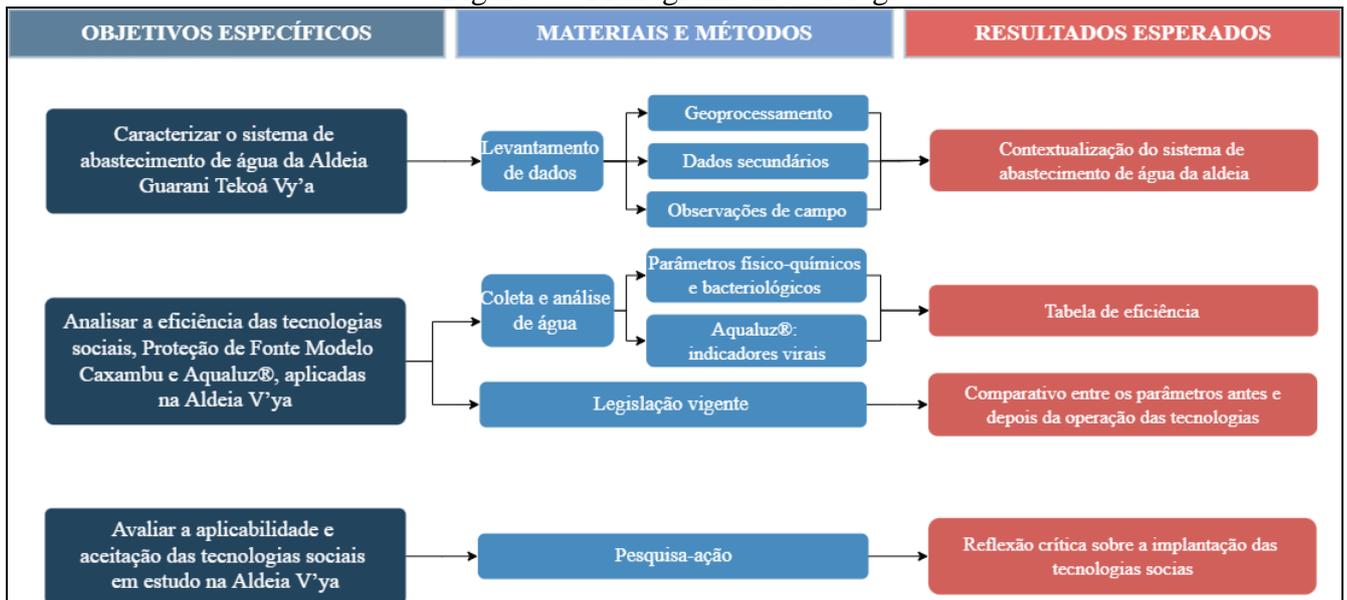
Fonte: Tripp (2005).

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de avaliar a eficiência de duas tecnologias sociais aplicadas ao abastecimento de água da aldeia Tekoá V'ya, o delineamento metodológico contemplou três

etapas: i) A caracterização do sistema de abastecimento de água; ii) A avaliação da eficiência de tecnologias sociais aplicadas na melhoria do sistema; e iii) Entendimento da percepção da comunidade sobre as tecnologias. As etapas da metodologia deste trabalho estão detalhadas no fluxograma apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma metodológico.



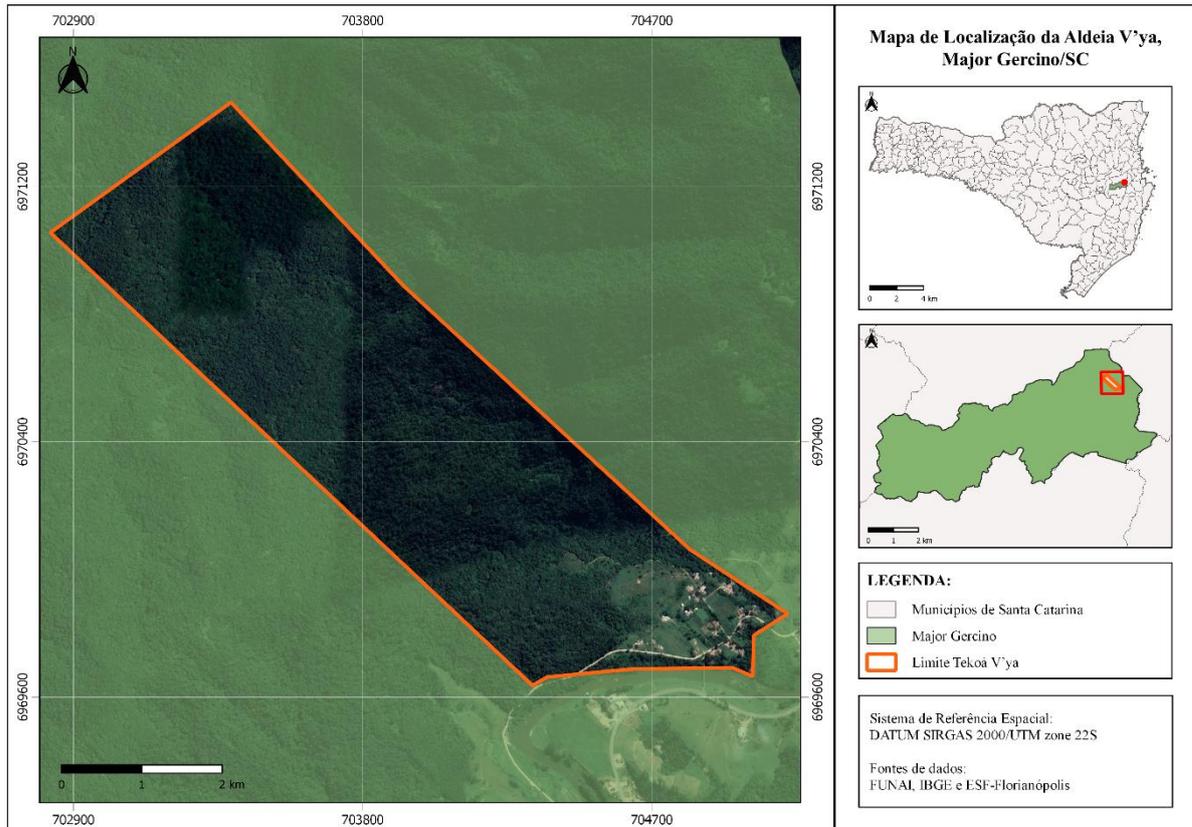
Fonte: Autoria Própria (2022).

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Aldeia *Mbyá-Guarani Tekoá V'ya*, Aldeia Feliz, está situada na localidade de Águas Claras no município de Major Gercino, região Noroeste da Grande Florianópolis, no Vale do Rio Tijucas, estado de Santa Catarina (Figura 10). Localiza-se nas coordenadas UTM 704939.19 m E e 6969785.08 m S, fuso 22 S (SIRGAS 2000).

A aldeia abriga cerca de 180 pessoas, divididas em 45 famílias. Atualmente, a liderança da aldeia é formada pelo Cacique Artur Benite e a Vice-Cacique Cecília Brizola.

Figura 10 - Mapa de Localização da *Tekoá V'ya*, Major Gercino/SC.



Fonte: Autoria Própria (2022).

A Terra Indígena tem uma área total de aproximadamente 1,47 km², localizada dentro da bacia hidrográfica do Rio Tijucas, a maior da Região Hidrográfica (RH) 08 - Litoral Centro. A hidrografia atual é composta por um rio secundário que desagua no Rio Tijucas e três nascentes conhecidas – sendo duas utilizadas no sistema de abastecimento de água da aldeia. Quillfeldt (2021), com dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais de 2013, verificou em seu estudo que a aldeia se encontra em uma área praticamente sem aquíferos, apresentando em parte de sua área aquíferos fraturados de menor potencialidade com vazões típicas de 2 a 9 m³/h.

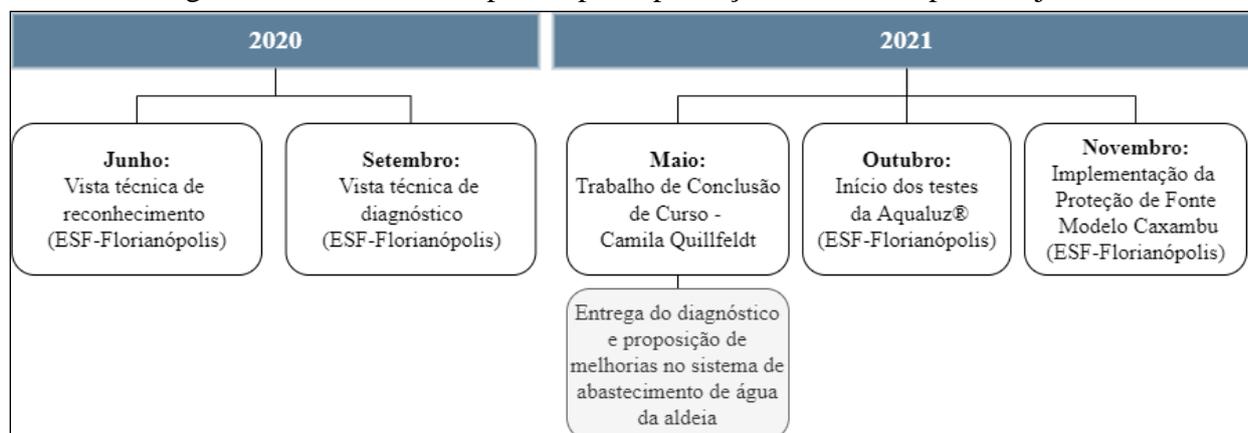
A aldeia está localizada no relevo de serra cristalina Tijucas e a geologia da região é caracterizada por embasamento cristalino com cobertura vegetal formada pelo bioma de Mata Atlântica - Floresta Ombrófila Densa (BRASIL, 2006c). O clima da região é caracterizado, conforme a classificação de Köppen, como clima subtropical, mesotérmico úmido, com verões

quentes e invernos brandos (WREGGE; STEINMETZ; REISSER JUNIOR; ALMEIDA, 2012). A média anual de irradiação solar de Major Gercino é de 4,026 kWh/ m²dia, sendo os picos de irradiação entre os meses de dezembro e janeiro (INPE, 2017). E a média mensal de chuva no município nos últimos 30 anos, baseado em dados das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), é de 163,83 mm (CLIMATEMPO, 2022).

3.2 DIAGNÓSTICO E LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE O ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA ALDEIA

Na Aldeia Feliz é desenvolvido o projeto Iara, iniciado em junho de 2020 com o objetivo de diagnosticar a situação do saneamento básico da aldeia para possibilitar a elaboração de projetos de melhoramento do abastecimento de água e tratamento de esgoto. Em 23 de setembro de 2020, a equipe do ESF-Florianópolis, responsável pelo projeto, realizou uma visita técnica na aldeia para levantar as informações necessárias sobre o saneamento no local. Assim, a caracterização da aldeia e demais informações sobre o abastecimento de água foram baseadas nos dados secundários do diagnóstico de saneamento feito pela equipe do projeto Iara e na pesquisa desenvolvida por Quillfeldt (2021), que acompanhou os trabalhos de diagnóstico do projeto. Os dados geoespaciais obtidos por meio do diagnóstico de saneamento foram manipulados no software Qgis para elaboração dos mapas de localização da área de estudo e componentes do sistema de abastecimento da aldeia. Por fim, o levantamento de informações foi baseado nas observações de campo por meio das visitas in loco e conversas com o atual AISAN da aldeia. Na Figura 11 está apresentada a linha do tempo das principais ações do projeto Iara na aldeia, bem como a identificação da pesquisa de Quillfeldt (2021).

Figura 11 – Linha do tempo das principais ações realizadas pelo Projeto Iara.



Fonte: Autoria Própria (2022).

3.3 APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS

Foram sugeridas duas TS para o melhoramento do sistema de abastecimento na aldeia, a Proteção de Fonte Modelo Caxambu e Aqualuz®, conforme a análise de critérios técnicos, sociais e econômicos realizada por Quillfeldt (2021). As tecnologias foram escolhidas para oferecer maior disponibilidade e qualidade de água para a população indígena, pois a água advinda da proteção de fonte é presumida ser de qualidade satisfatória que, quando aduzida para os reservatórios e então distribuída pela rede presente na aldeia, apenas necessita de desinfecção – descartando qualquer outro tratamento.

3.3.1 Proteção de Fonte Modelo Caxambu

A proteção de fonte foi implementada na nascente 2 (Figura 17), nos dias 21 e 22 de novembro de 2021. No primeiro dia, a equipe técnica do ESF-Florianópolis realizou uma breve apresentação e capacitação técnica (Anexo A) sobre a tecnologia para a comunidade, em especial para os dez indígenas que participaram da construção da Caxambu – os quais receberam certificados pelos serviços prestados. A implementação da TS contou também com o auxílio presencial de dois técnicos da EPAGRI, a técnica Marli Guesser e o técnico Remy.

No dia 21, os materiais foram levados até a nascente, onde foi preparado o tubo de concreto. Para a captação de água foi utilizado um tubo de PVC de 40 mm, com intuito de

aproveitar o diâmetro do sistema já utilizado na nascente. A tubulação implantada para o ladrão foi de 40 mm e, as outras duas saídas de água foram de 25mm (fechadas com cap de PVC). Estas irão ser utilizadas para a limpeza da fonte, podendo uma ser utilizada para captação auxiliar, caso necessário. O local de afloramento da nascente foi limpo e preparado para receber o tubo de concreto. Também, foi verificado se a barragem de pedra já existente possuía algum vazamento.

No dia 22, houve o assentamento do tubo de concreto no local, previamente preparado com uma camada de brita e coberto por camadas de pedras comuns (existentes no local da nascente) e pedras de rio, de maneira que as pedras maiores foram posicionadas na parte de baixo e as menores em cima. A barragem de suporte ao sistema foi reforçada com concreto. Antes da vedação com a lona plástica, foi efetuada a desinfecção com água sanitária. Após a lona plástica, uma camada de terra foi colocada ao redor até o nível original do solo. Por fim, o tubo de limpeza foi alocado no ponto mais alto do sistema e, no tubo do ladrão, houve a adição de um tecido de tela para proteção. O sistema instalado está apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Implementação da Proteção de Fonte Modelo Caxambu na nascente 2.



Fonte: ESF - Florianópolis (2021).

Para a cobertura vegetal do sistema, planejou-se a colocação de gramíneas e plantas existentes na área do entorno. Até a visita do dia 06 de fevereiro de 2022, havia apenas um pouco de terra e folhas secas na parte de cima do sistema. Além disso, como o terreno é íngreme, foi planejado a execução de um desvio na parte de cima do sistema para que a água da chuva

escorra ao redor dele e não o danifique. Na Figura 13 pode-se observar o sistema no dia de sua instalação e depois de quase dois meses de operação.

Figura 13 - Modelo Caxambu na nascente no dia da instalação (A) e na visita *in loco* de janeiro de 2022 (B).



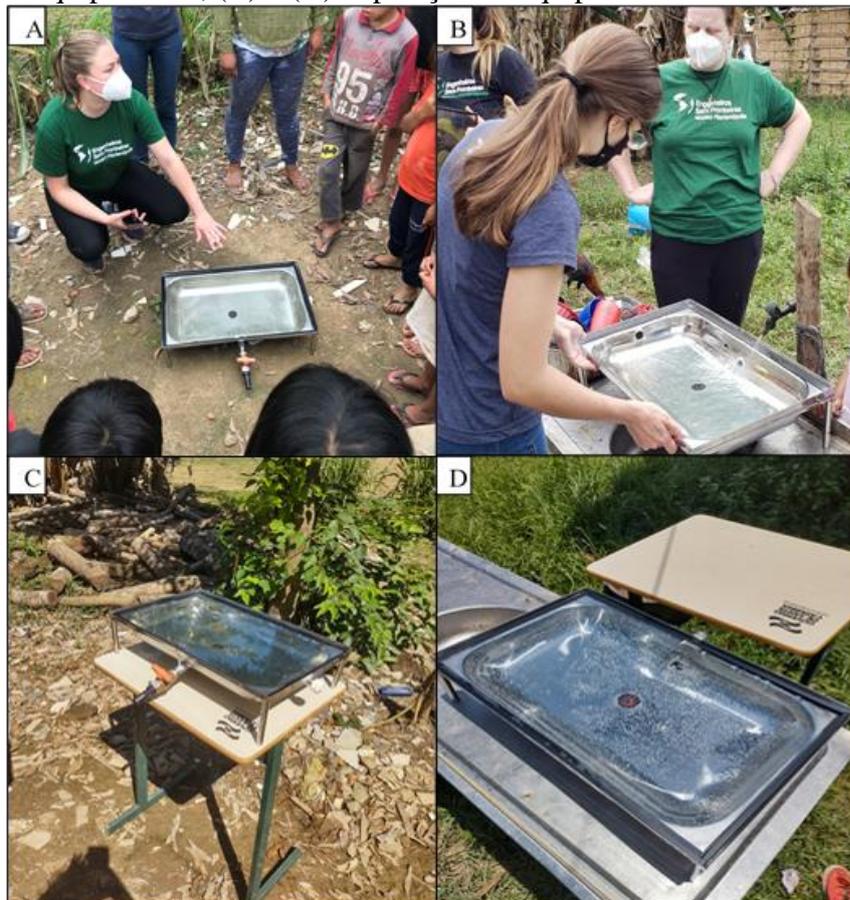
Fonte: Acervo próprio (2022).

No diagnóstico realizado por meio do estudo de Quillfeldt (2021), o outro ponto de captação de água foi caracterizado como nascente, no caso, a nascente 1. Na visita *in loco* do dia 22 de novembro de 2021, com auxílio de técnicos da EPAGRI, apurou-se que esse ponto é apenas um local de acúmulo e passagem de água da nascente que tem afloramento nas cotas mais acima. Como a TS não se aplica nos locais de passagem de água, a execução da tecnologia foi adiada devido ao não conhecimento do local exato da nascente e a condição sanitária da pandemia de Covid-19 em dezembro de 2021 e janeiro de 2022. Para o reconhecimento da nascente 1, foi realizada a trilha de identificação do local na visita *in loco* do dia 06 de fevereiro de 2022 e a execução do sistema está previsto para final de março de 2022, conforme o cronograma de execução do Projeto Iara. Cabe ressaltar que no dia 21 de outubro de 2021, o ponto em questão também foi limpo de maneira que os procedimentos podem ter influenciado a qualidade da água posteriormente.

3.3.2 Aqualuz®

A tecnologia Aqualuz® foi aplicada na aldeia por meio de um protótipo durante o período de outubro de 2021 a fevereiro de 2022. O equipamento foi levado até a aldeia, abastecido com água proveniente do ponto P6 - detalhado posteriormente - e operado por um ciclo durante as visitas *in loco*, não permanecendo na aldeia durante o estudo. Na coleta de outubro de 2021, foi iniciada a análise de coliformes e, a partir de novembro de 2021, seguiu-se com as análises de acordo com o plano de coleta e análise. Nas duas últimas análises, foram testados dois ciclos diferentes, o primeiro quando o sensor da Aqualuz® ficasse vermelho (indicativo de que a água está pronta para consumo) e o segundo após 4 horas (ciclo recomendado para dias ensolarados). A Figura 14 mostra os procedimentos de teste - enchimento do equipamento e exposição a luz solar.

Figura 14 - Teste da Aqualuz®: (A) apresentação, (B) preparação para operação do equipamento, (C) e (D) exposição do equipamento a luz solar.



Fonte: Acervo próprio (2022).

Conforme os dados da simulação feita pelo fabricante para a cidade de Major Gercino, foi observado que a radiação na região tende a ser maior em janeiro (média de 400 W/m²) e menor em julho (média de 250 W/m²). Assim, a análise do ciclo foi baseada na fórmula do fabricante de decaimento da Aqualuz®, a qual mostrou que para a remoção de 99,99% dos patógenos em dias de sol mais intenso (primavera e verão) o ciclo necessário é de 4 a 6 horas e, em dias de sol menos intenso (outono e inverno) o ciclo tende a se estender por mais de 12 horas para atingir esta remoção (SDW, 2021b).

Como o índice de radiação na localidade é relativamente baixo, os testes foram iniciados nos momentos de sol a pino – por volta das 10h. As condições experimentais, relacionadas ao clima foram determinadas pela predominância ou não de nuvens no céu e o local escolhido foi adequado para que houvesse uma exposição ao sol durante toda a operação do equipamento. As descrições das condições experimentais e de operação do equipamento estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Condições experimentais e de operação dos testes da Aqualuz®.

Teste	Coleta	Condições experimentais e de operação
Teste 1	Coleta 2 (24/10/2021)	Dia nublado; operação iniciada às 10h e ciclo finalizado às 15h.
Teste 2	Coleta 3 (21/11/2021)	Dia ensolarado; operação iniciada às 9h17 e ciclo finalizado por volta das 13h20.
Teste 3	Coleta 4 (16/01/2022)	Dia ensolarado, com temperatura média de 34°C; operação iniciada às 8h54 e ciclo finalizado às 12h54.
Teste 4	Coleta 5 (23/01/2022)	Dia ensolarado, com temperatura média de 33°C; operação iniciada às 9h52, sensor positivo depois de 3h07 de operação, ciclo finalizado às 14h24.
Teste 5	Coleta 6 (06/02/2022)	Dia ensolarado na parte da manhã e nublado a partir do 12h, com temperatura média de 32°C; operação iniciada às 11h20, sensor positivo depois de 2h30 de operação.

Fonte: Autoria Própria (2022).

3.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA ALDEIA

A fim de avaliar a qualidade da água da aldeia, foram utilizados dados prévios, da etapa de diagnóstico de saneamento, bem como coletas e análises da água de pontos

selecionados no sistema de abastecimento – antes e depois da aplicação das tecnologias sociais. As etapas que compõem a avaliação em questão estão descritas nas seções a seguir.

3.4.1 Coleta das amostras

O plano de amostragem foi baseado nas diretrizes para monitoramento da qualidade da água para consumo humano em aldeias indígenas, do Ministério da Saúde, as quais definem como principais pontos de coleta o manancial, a saída do tratamento e a rede de distribuição. Ainda, em aldeias sem sistemas de tratamento recomenda-se a coleta de amostra em cada ponto de captação de água consumida pela população (DMQAI, 2014).

A obtenção e a manutenção da potabilidade da água dependem de uma visão sistêmica, que abrange a dinâmica da água desde o manancial até o consumo (BRASIL, 2006a). Deste modo, foram escolhidos 8 pontos para a coleta de água, contemplando as nascentes, reservatórios e pontos de distribuição de água, detalhados no Quadro 3, na Figura 15 e na Figura 16. Antes do início das coletas, no dia 19 de agosto de 2021, foi realizada uma visita *in loco* para reconhecimento e validação dos pontos de coleta selecionados. Na visita, foi utilizado o aplicativo *Avenza Maps* para mapear os pontos de coleta. Posteriormente, os dados obtidos foram manipulados no *software Qgis* para elaboração do mapa da localização dos pontos de coleta.

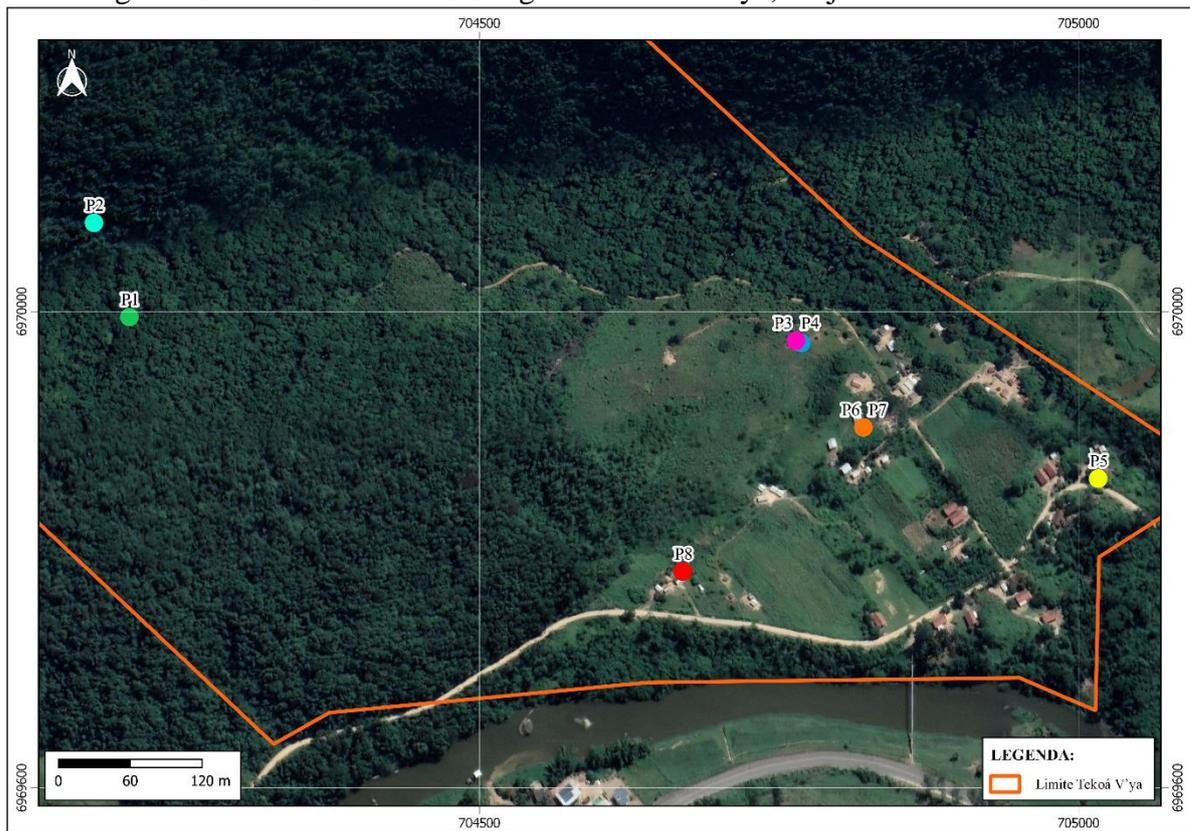
Quadro 3 – Descrição dos pontos de coleta de água.

Ponto	Descrição	Coordenadas plana UTM (SIRGAS 2000)
P1	Ponto de captação de água do sistema de abastecimento de água existe na aldeia, rodeado por vegetação bem preservada.	704207.81 m E
		6969995.38 m S
P2	Ponto de captação (nascente) de água do sistema de abastecimento de água existe na aldeia, rodeado por vegetação bem preservada. Local de instalação do sistema Caxambu.	704178.19 m E
		6970074.58 m S
P3	Antes da entrada do primeiro reservatório de água existente na aldeia.	704766.96 m E
		6969974.18 m S
P4	Saída do segundo reservatório de água presente na aldeia.	704764.24 m E
		6969975.49 m S
P5	Ponto de distribuição de água: residência próxima a entrada da aldeia, com caixa d'água.	705016.55 m E
		6969859.68 m S

P6	Ponto de distribuição de água: pia comunitária.	704820.59 m E
		6969902.70 m S
P7	Água captada do P6 pós desinfecção pela Aqualuz®.	704820.59 m E
		6969902.70 m S
P8	Ponto de distribuição de água: residências mais afastadas dos reservatórios de água.	704669.73 m E
		6969781.68 m S

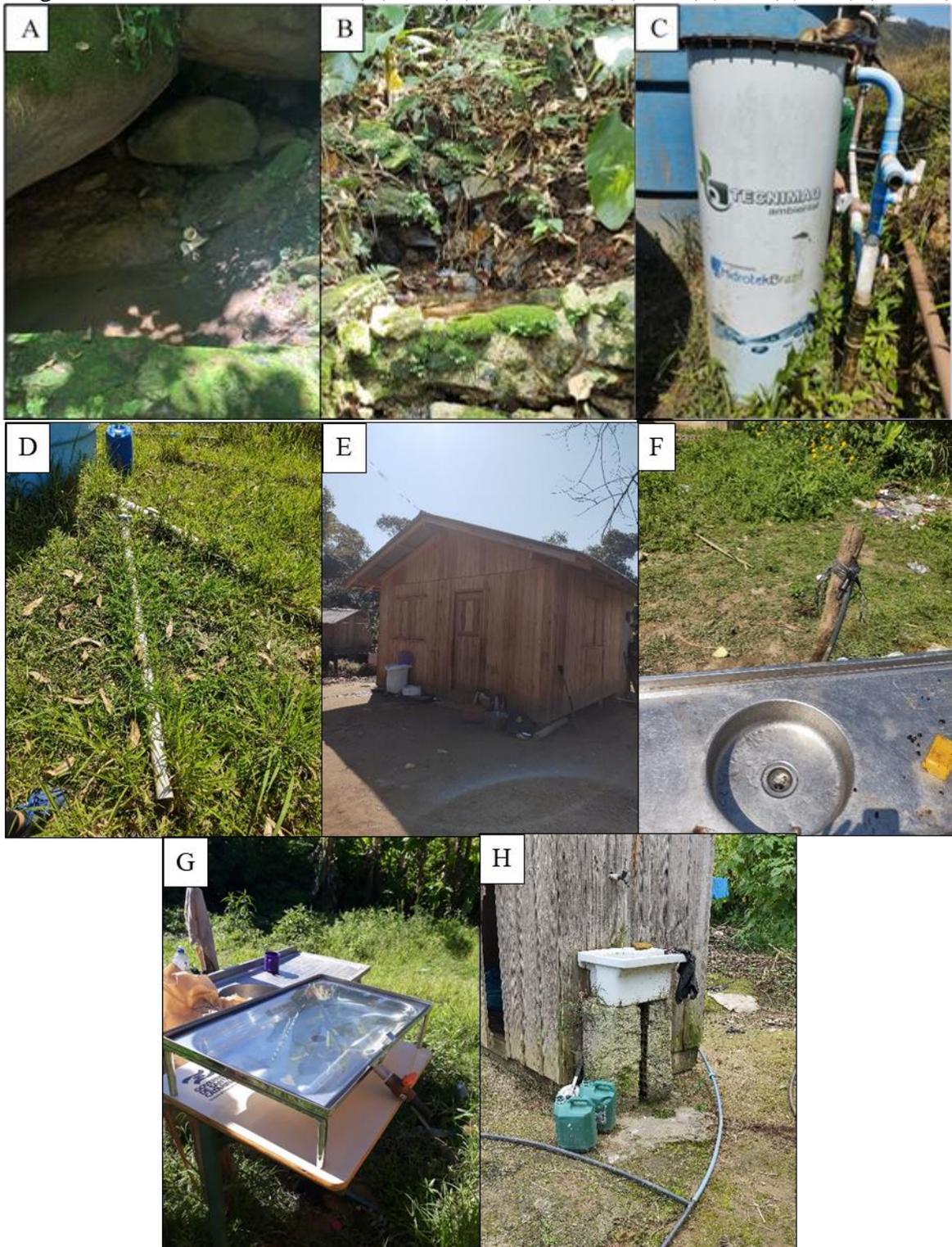
Fonte: Aatoria Própria (2022).

Figura 15 - Pontos de coleta de água na Aldeia V'ya, Major Gercino/SC.



Fonte: Aatoria Própria (2022).

Figura 16 - Pontos de coleta P1 (A), P2 (B), P3 (C), P4 (D), P5 (E), P6 (F), P7(G) e P8 (H).



Fonte: Acervo pessoal (2021).

As coletas foram planejadas para ocorrerem mensalmente no período de setembro de 2021 a fevereiro de 2022, no penúltimo final de semana do mês. Ainda, as coletas foram realizadas sem grandes eventos chuvosos anteriores, com exceção da coleta 6 que ocorreu após 3 três dias seguidos de chuva. No Quadro 4 é apresentado o cronograma e características das coletas de água.

Quadro 4 - Cronograma e descrição das coletas de água.

Coleta	Data da coleta	Pontos de coleta	Descrição
Coleta 1	26/09/2021	P1, P2, P3, P4, P5 e P6	Não foram coletadas amostras do P8 devido a indisponibilidade de água na hora da coleta (final da manhã).
Coleta 2	24/10/2021	P1, P3, P4, P5, P6, P7 e P8	Início do teste do protótipo da Aqualuz®; não foram coletadas amostras do P2 devido a trilha estar comprometida no dia da coleta;
Coleta 3	21/11/2021	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8	Execução da Fonte modelo Caxambu na nascente 2; teste do protótipo da Aqualuz®.
Coleta 4	16/01/2022 ^(a)	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8	Teste do protótipo da Aqualuz®.
Coleta 5	23/01/2022	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8	Teste do protótipo da Aqualuz®.
Coleta 6	06/02/2022 ^(a)	P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7	Teste do protótipo da Aqualuz®; não foram coletadas amostras do P8 devido a indisponibilidade de água na hora da coleta (final da manhã).

^(a) Data de vistoria adaptada.

Fonte: Autoria Própria (2022).

Para a coleta do material para as análises de coliformes, foram utilizados frascos esterilizados disponibilizados pelo Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) - pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Para a coleta das amostras restantes foram utilizadas garrafas PET de 500mL, devidamente higienizadas. As amostras coletadas foram armazenadas em uma bolsa térmica, durante a coleta na aldeia, e posteriormente em um *cooler* com gelo a fim de manter as amostras resfriadas e protegidas da luz durante o transporte à Florianópolis. As amostras foram resfriadas em uma geladeira até o transporte ao laboratório.

3.4.2 Análises laboratoriais

Assim como os pontos de coleta, a escolha dos parâmetros foi baseada nas diretrizes para monitoramento da qualidade da água para consumo humano em aldeias indígenas, nas quais há destaque para os parâmetros de turbidez, pH, cor e coliformes. Buscou-se também atender o indicado pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Desta maneira, para avaliar a qualidade da água antes e depois da aplicação das TS foram realizadas análises segundo parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e virais. Os últimos foram escolhidos como complemento para os resultados dos parâmetros bacteriológicos nos pontos da desinfecção (P6 e P7).

As análises dos parâmetros, bem como as coletas, seguiram as instruções do *Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater* (BAIRD; EATON; RICE, 2017). No laboratório LIMA foram realizadas as análises físico-químicos e bacteriológicos, no dia seguinte as coletas de água. Já as análises dos indicadores virais foram realizadas em dezembro de 2021 e em janeiro e fevereiro de 2022, no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, sob orientação da equipe do Grupo de Pesquisas de Recuperação de Recursos em Sistema de Saneamento (RReSSa).

Os parâmetros escolhidos para este estudo e suas metodologias estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Parâmetros e metodologias utilizadas.

Parâmetro	Metodologia	Unidade
Parâmetros físico-químicos		
Cor aparente	Método Espectrofotométrico – Equipamento Espectrofotômetro (marca HACK, modelo D3900); Comprimento de onda de 455 nm.	uH ^a
Dureza	Método titrimétrico com EDTA - 2340 C (BAIRD; EATON; RICE, 2017)	mg/L
Ferro total	Método 1,10-fenantrolina - 3500 – FEB (BAIRD; EATON; RICE, 2017)	mg/L
pH	Método Potenciométrico – Equipamento pH-metro (marca KASVI, modelo K39-0014PA)	-
Sólidos Dissolvidos Totais	Método 2540 C (BAIRD; EATON; RICE, 2017)	mg/L
Sólidos Suspensos Totais	Método 2540 D (BAIRD; EATON; RICE, 2017)	mg/L

Turbidez	Método Nefelométrico – Equipamento Turbidímetro (marca HACK, modelo 2100N)	NTU
Cloreto, Nitrato e Sulfato	Cromatógrafo líquido para análise de íons – Equipamento Dionex (marca THERMO FISHER SCIENTIFIC, modelo ICS-5000)	mg/L
Parâmetros bacteriológicos		
Coliformes totais e <i>E. coli</i>	Método Colilert®: Método 8223 A (BAIRD; EATON; RICE, 2017). A necessidade de diluição da amostra foi verificada conforme o andamento das análises. Nos casos afirmativos, a amostra foi diluída pelo fator de diluição 10.	NMP/ 100mL
Indicadores virais		
Deteção de bacteriófagos de origem fecal	Método de dupla camada de ágar (ADAMS, 1959), ISO 10705-1 (1995) ISO 10705-2 (2000).	UFP/mL

^a Unidade Hazen: mgPt-Co/L

Fonte: Aatoria Própria (2022).

No caso dos indicadores virais, com objetivo de avaliar a incidência de bacteriófagos de origem fecal em amostras coletadas nos pontos de teste da Aqualuz® (P6 e P7), foram utilizados para as análises dois grupos de fagos:

- a) RNA F-específico (Cultivado na respectiva Bactéria hospedeira: *Salmonella Typhimurium*);
- b) Colifago Somático (Cultivado na respectiva Bactéria hospedeira: *Escherichia coli*).

As análises consistiram na diluição seriada de base 10 das amostras em solução salina peptonada, seguida pelo plaqueamento (realizado em triplicada) e, então, pelo método de dupla camada de ágar (ADAMS, 1959). Este método consistiu na adição de 2 ml de meio semi-sólido de nutrientes, 1 ml das respectivas diluições e 1 ml do bacteriófago cultivado na respectiva bactéria hospedeira em caldo de nutriente em tubos devidamente marcados e em banho maria; agitação dos tubos em Vortex e então os tubos foram vertidos nas respectivas placas de Petri, até recobrir toda a superfície. As placas foram incubadas invertida à 37°C durante 18h. A leitura foi realizada por meio da quantificação de unidades formadoras de placas por mililitro (UFP/mL).

3.4.3 Análise dos dados e avaliação das TS

Os resultados das análises dos parâmetros foram comparados com os valores máximos permitidos (VMP) pelo anexo XX da Portaria GM/MS nº 888/2021, expressos na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrão de potabilidade de água para consumo segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021.

Parâmetro	VMP^a	Unidade
Coliformes totais (água na saída do tratamento)	Ausência em 100mL	NMP/100mL
Coliformes totais (água tratada do sistema de distribuição)	Ausência em 100mL ^b	NMP/100mL
<i>Escherichia coli</i> (água tratada do sistema de distribuição e nos pontos de consumo)	Ausência em 100mL	NMP/100mL
Cloreto	250	mg/L
Cor Aparente	15	uH
Dureza total	300	mg/L
Ferro	0,3	mg/L
Nitrato	10	mg/L
pH	6 - 9	-
Sólidos dissolvidos totais	500	mg/L
Sulfato	250	mg/L
Turbidez	5	uT
Turbidez (pós desinfecção) ^c	1	uT

^a Valor Máximo Permitido

^b 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

^c Em 95% das amostras mensais no ponto pós desinfecção para águas subterrâneas.

Fonte: Autoria Própria (2022).

Segundo a Portaria, são permitidos valores superiores ao VMP estabelecido para o parâmetro de ferro, desde que seja observado se o produto químico no qual o elemento esteja complexado seja de baixo risco à saúde e sua concentração não ultrapasse 2,4 mg/L. No caso da Turbidez, a Portaria requer análises semanais da turbidez, em que o parâmetro deve se manter abaixo de 1,0 uT em 95% das análises mensais. Para o presente trabalho, considerou o VMP citado acima para todas as amostras pós desinfecção, como fator de segurança.

A avaliação das condições dos pontos de captação de água da aldeia também se baseou na Resolução CONAMA nº 396/2008, a qual dispõe sobre a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Na Tabela 2 são apresentados os VMP, listados na resolução em questão, dos parâmetros estudados para águas subterrâneas de uso para consumo humano.

Tabela 2 - Valores Máximos Permitidos segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008.

Parâmetro	VMP^a	Unidade
Cloreto	250	mg/L
Ferro	0,3	mg/L
Nitrato	10	mg/L
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	1.000	mg/L
Sulfato	250	mg/L
<i>E. coli</i>	Ausentes em 100ml	NMP/100 ml

^a Valor Máximo Permitido

Fonte: Autoria Própria (2022).

Para a detecção de bacteriófagos nos pontos P6 e P7, a análise consistiu basicamente na diferença entre as concentrações iniciais e finais do uso da tecnologia— considerando sempre a ausência do indicador (ausência dos patógenos) como resultado requerido.

As eficiências das TS foram baseadas na diminuição dos parâmetros e adequação à legislação vigente. Deste modo, foram comparados os resultados de antes e depois da aplicação das tecnologias. No caso específico da desinfecção pela Aqualuz®, foi verificada sua eficiência com base no parâmetro de remoção do fabricante, 99,9%.

3.5 APLICABILIDADE E ACEITAÇÃO DAS TS PELA COMUNIDADE

As percepções e reflexões sobre a aplicabilidade das tecnologias na aldeia, bem como a aceitação destas, foram baseadas na metodologia de pesquisa-ação. A metodologia foi adaptada para a avaliação simplificada dos aspectos citados de modo a desenvolver as etapas de monitoramento da implantação das tecnologias, avaliação dos resultados e sugestão de aperfeiçoamentos para o uso das TS, visto que a escolha das melhorias já foi previamente

desenvolvida por Quillfeldt (2021) e a etapa de execução das ações para melhoria no uso das tecnologias não foi aplicada devido ao tempo deste estudo.

A metodologia foi aplicada durante as visitas *in loco*, de outubro de 2021 a fevereiro de 2022, de maneira participativa e diagnóstica, ou seja, a pesquisadora esteve presente na implantação até o teste das alternativas, e focou na constatação pessoal da pesquisadora que foi desenvolvida por meio de discussões com a equipe do projeto Iara, bem como na percepção do principal agente envolvido na manutenção do sistema de abastecimento de água da aldeia, o AISAN.

A problemática da análise seguiu o abordado na pesquisa Quillfeldt (2021): qualidade e disponibilidade da água captada e a falta de tratamento para remoção de patógenos da água, visto que o cloro não obtém aceitação da comunidade. Em consequência, a ação para cada problemática consistiu na aplicação das tecnologias sociais Proteção de Fonte Modelo Caxambu e Aqualuz®, respectivamente. Assim, as hipóteses levantadas para a análise foram escolhidas com base nas premissas do que é uma tecnologia social e no local em que ela é aplicada.

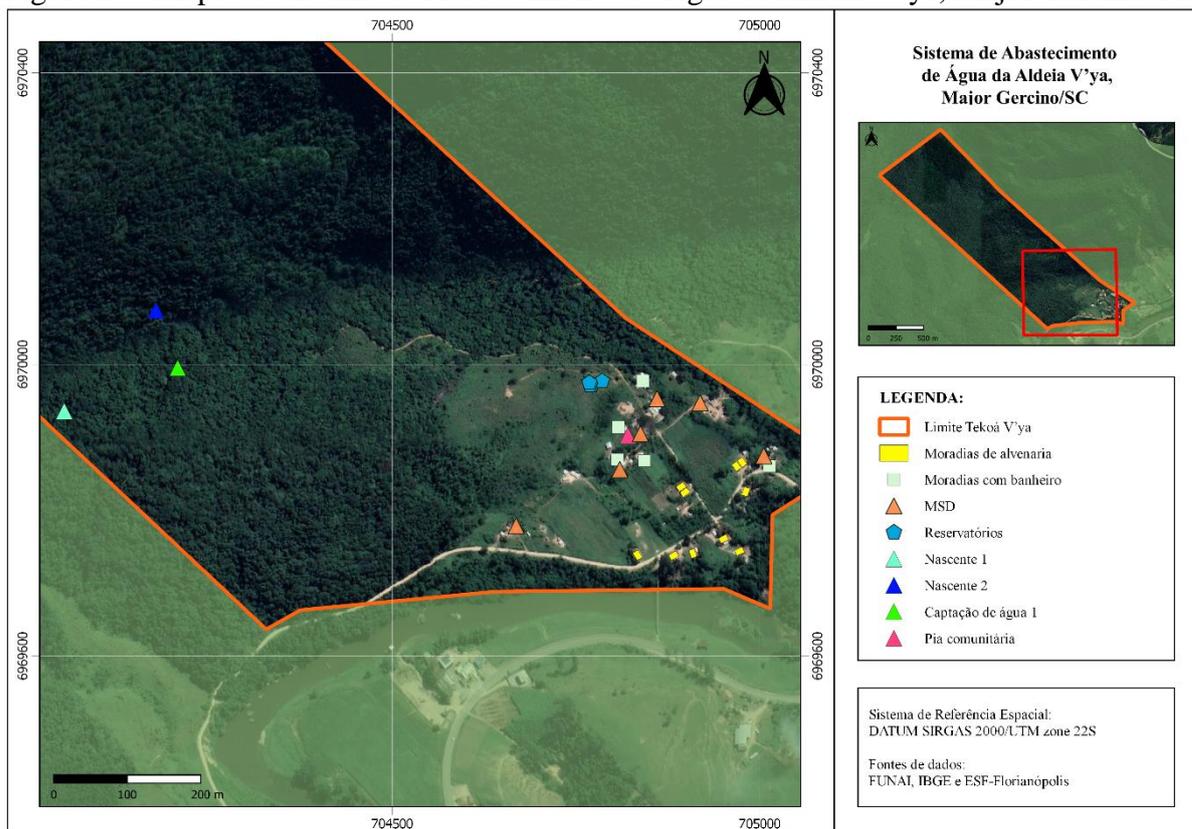
Deste modo, os pontos principais a serem levantados foram: custo de compra e manutenção, vida útil da tecnologia, disponibilidade de água oferecida e condições de operação e manutenção. Em específico para o Modelo Caxambu selecionou-se os aspectos da diminuição do parâmetro de turbidez na água e diminuição da contaminação bacteriológica. Para a Aqualuz®, o principal aspecto específico foi a eficiência de 99,9% na remoção dos patógenos, conforme o que apresenta o fabricante. Para tanto, foram utilizados os dados levantados por meio do diagnóstico realizado por Quillfeldt (2021) e projeto Iara, as análises de água, observações de campo e conversas com a comunidade, principalmente com o AISAN. Por fim, os passos seguidos possibilitaram reflexões críticas sobre a aplicação das tecnologias sociais na aldeia de maneira a orientar a avaliação das tomadas de decisão sobre as possíveis adaptações e mudanças a serem adotadas no aperfeiçoamento do uso das tecnologias implementadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA ALDEIA

O sistema de abastecimento de água da Aldeia V'ya é composto por soluções alternativas coletivas, caracterizadas pela captação de água bruta em nascentes, filtro de pressão, sistema de desinfecção por hipoclorito (desativado) e três caixas d'água, de 10.000 litros cada, para o armazenamento da água. Ainda, o sistema conta com uma rede de distribuição domiciliar. O mapa de caracterização do sistema de abastecimento de água da aldeia (Figura 17) apresenta a localização das nascentes, ponto de captação da nascente 1, reservatórios e pontos de consumo de água. Ressalta-se que os pontos de utilização de água foram mapeamentos com base diagnóstico do sistema de abastecimento de água realizado por Quillfeldt (2021) e, pela dinâmica da aldeia, podem sofrer modificações (abastecimento de água, alteração da localização ou desativação).

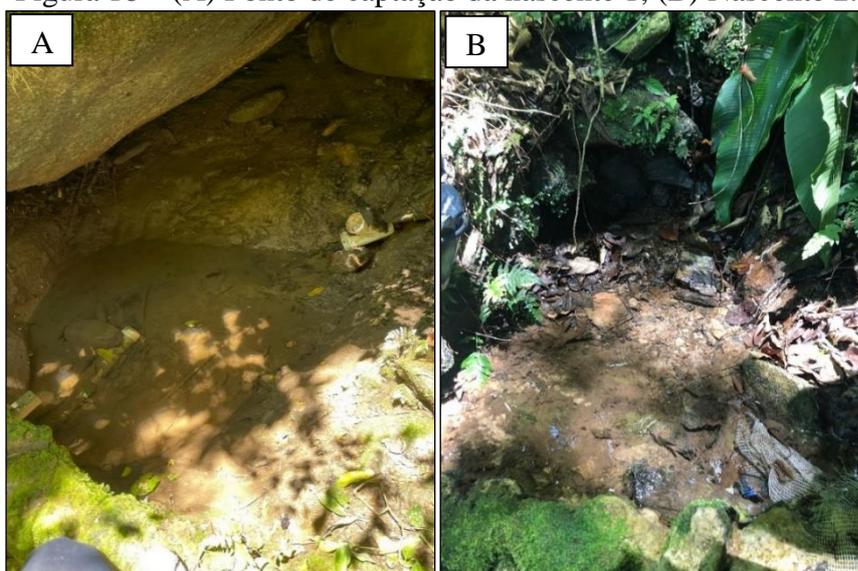
Figura 17 - Mapa do Sistema de Abastecimento de Água da Aldeia V'ya, Major Gercino/SC.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Conforme comentado na seção 3.3.1, o ponto que se pensava ser uma das nascentes na verdade é apenas um local de acúmulo e passagem de água da nascente 1 que tem afloramento nas cotas mais acima de modo que a água corre por meio de pedras e se acumula em uma vala, a qual é utilizada para a captação (Figura 18). Segundo relatou o atual AISAN, o local é usado como captação pelo acesso ser mais fácil.

Figura 18 – (A) Ponto de captação da nascente 1; (B) Nascente 2.



Fonte: Acervo próprio (2022).

A nascente 2 apresenta em seu entorno uma proteção vegetal bem preservada e uma barragem de pedras (Figura 18). A captação conta com uma tubulação de PVC (protegida por uma tela) que direciona a água para uma caixa d'água fechada existente no local. Nas visitas *in loco*, percebeu-se que a caixa d'água estava com nível de água baixo. Segundo a medição da vazão feita em setembro de 2020 por Quillfeldt (2021), a nascente tem uma média de 0,09 litros/segundo. A autora constatou, conforme os dados de precipitação nas três semanas que antecederam a medição, que a vazão média da nascente poderia ser menor que a do dia medido. Assim, contando com a baixa vazão observada no ponto de captação 1, as vazões não atendem à demanda diária na época estimada em 0,17 litros/segundo. De acordo com as informações do antigo AISAN, em 2020, a disponibilidade de água das nascentes vem diminuindo ao longo dos anos, com períodos com vazão mais baixa que a observada por Quillfeldt (2021).

A água captada é conduzida por gravidade por meio de duas adutoras de polietileno de alta densidade (PEAD), de 50 mm, até os reservatórios que estão localizados em uma área mais elevada do terreno (cota 39 metros) em relação as habitações da aldeia (cota 20 a 23 metros). O armazenamento de água é feito por dois reservatórios de 10.000 litros interligados (*bypass*), em que a saída para distribuição está presente em apenas um deles. Foi observado durante as visitas *in loco* que esses reservatórios apresentaram danos nas tampas. A manutenção é feita pelo AISAN com a utilização de cloro e foi realizada em outubro de 2021 e em fevereiro de 2022 – sendo esta última após a coleta 6. Ainda, há um terceiro reservatório, de 10.000 litros, localizado mais abaixo dos outros dois. Na Figura 19 estão ilustrados os reservatórios do sistema de abastecimento.

Figura 19 - Reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água da Aldeia V'ya.



Fonte: ESF - Florianópolis (2020).

A água transportada para os reservatórios passa antes por um filtro de pressão (Figura 20). Conforme Quillfeldt (2021), o antigo AISAN realizava a manutenção do filtro (limpeza e troca) mas não de maneira correta. O novo AISAN da aldeia, informou que não tinha informações sobre a manutenção e operação do filtro.

Figura 20 - Reservatórios e filtro de pressão do Sistema de Abastecimento da Aldeia V'ya.



Fonte: Acervo próprio (2022).

No local dos reservatórios há uma caixa d'água de 500 litros para a desinfecção com hipoclorito (Figura 21), no entanto ela encontra-se desativada devido pois comunidade não aceita o gosto que o desinfetante confere à água, isto muito provavelmente pela dosagem incorreta do hipoclorito na água. A dosagem pode ser ajustada para reduzir ou eliminar o gosto, porém, conforme a vontade da aldeia, deve-se respeitar a não utilização de cloração como método de desinfecção da água.

Figura 21 - Sistema de desinfecção com hipoclorito desativado.

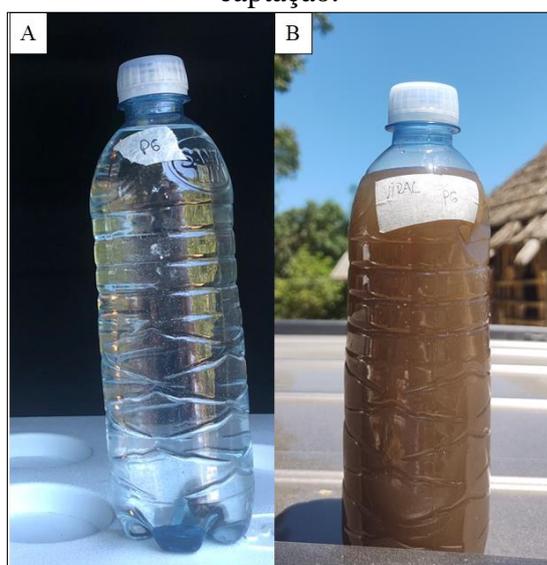


Fonte: Acervo próprio (2022).

Dos reservatórios, a água é distribuída por uma rede de PEAD de 20 mm, alocada sobre o solo, para os pontos de consumo. Verificou-se que nos locais mais afastados do centro da aldeia, é comum faltar água a partir do final da manhã principalmente nos domicílios que não possuem caixa d'água para armazenamento. Além da disponibilidade de água nas fontes de captação, foram observadas muitas ramificações desordenadas na rede de distribuição, incluindo falta de vedação adequada e alocação das mangueiras de maneira propícia a danificação, o que caracteriza um mal dimensionamento e não garante a velocidade e pressão suficiente em todos os pontos de distribuição.

É importante comentar que durante a coleta de novembro de 2021, após o início dos trabalhos nos pontos de captação (P1 e P2), pode-se notar uma mudança na qualidade da água no ponto de distribuição P6 (Figura 22). Segundo os relatos dos usuários, essa alteração é comumente vista em períodos de chuva extrema.

Figura 22 -Qualidade da água no P6 (A) antes e (B) depois da limpeza nos pontos de captação.



Fonte: Acervo pessoal (2021).

Conforme o levantamento de Quillfeldt (2021), a aldeia possui 41 habitações, sendo dez de alvenaria completa com caixa d'água, pia de cozinha, tanque de roupas e banheiro com bacia sanitária, lavatório e chuveiro. As demais são de madeira com banheiro de alvenaria (bacia sanitária, lavatório e chuveiro), bambu ou pau-a-pique, sendo estas sem banheiro ou

cozinha dentro de casa. Existem apenas seis módulos sanitários domiciliares (MSD), compostos por bacia sanitária, chuveiro e um tanque do lado externo, que foram construídos pela SESAI em parceria com a Prefeitura de Major Gercino no período de 2018 a 2019, porém, encontram-se danificados ou sem acesso à água. Ainda, além das cozinhas existentes nas casas de alvenaria, há sete cozinhas - somente uma com pia. Nas visitas *in loco* realizadas de agosto de 2021 a fevereiro de 2022, foi verificado a existência de mais algumas habitações de alvenaria, a alocação de uma pia comunitária perto da casa de reunião (de fácil acesso para as crianças) e a construção de dois banheiros em alvenaria, anexados a atual escola da aldeia.

A Tekoá V'ya integra o DSEI-ISUL e, conforme as informações do Distrito Sanitário, a aldeia não está inserida no Programa de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano em Aldeias Indígenas executado pelo DSEI-ISUL, no qual a qualidade de água das aldeias é analisada mensalmente (QUILLFELDT, 2021).

4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DE ÁGUA E EFICIÊNCIA DAS TS AVALIADAS

4.2.1 Avaliação dos parâmetros físico-químicos

Os resultados referentes aos parâmetros físico-químicos estão apresentados na Tabela 3, com destaque em azul para a operação do sistema Caxambu implementado na nascente 2 (P2) e em amarelo para os testes da Aqualuz®. Nesta tabela, também são apresentados as médias e o desvio padrão de cada ponto avaliado. Convém destacar que não foram analisados os parâmetros de cloreto, sulfato e nitrato em outubro de 2021 (coleta 2), pois o equipamento do laboratório estava em manutenção.

Tabela 3 -Resultados das análises físico-químicas.

Análises físico-químicas											
Ponto	Coleta	Cor aparente (uH)	Dureza (mg/L)	Ferro (mg/L)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Turbidez (NTU)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)
P1	Coleta 1	30,00	8,00	0,25	7,20	NA ^a	0,00 ^b	3,63	4,72	2,26	0,49
	Coleta 2	23,00	8,00	0,17	6,70	NA ^a	12,00	2,58	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 3	39,00	30,00	0,23	6,20	NA ^a	23,00	7,96	6,45	1,69	0,50
	Coleta 4	41,00	8,00	1,98	7,30	72,00	0,00 ^b	4,40	5,30	5,37	0,47
	Coleta 5	44,00	8,00	0,23	6,30	38,00	110,00	6,77	4,38	5,31	0,37
	Coleta 6	22,00	14,00	0,23	6,80	51,00	0,00 ^b	1,83	4,25	2,21	0,43
	Média	33,17±8,7	12,67±8,1	0,52±0,7	6,75±0,4	53,67±14	24,17±39,3	4,53±2,2	5,02±0,8	3,37±1,6	0,45±0,05
P2	Coleta 1	0,00 ^b	16,00	0,02	6,70	NA ^a	0,00 ^b	0,75	5,14	3,34	1,71
	Coleta 2	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 3	1,00	8,00	0,10	6,10	NA ^a	0,00 ^b	0,59	4,56	2,67	1,58
	Coleta 4 ^c	10,00	8,00	0,16	7,60	52,00	0,00 ^b	1,25	5,74	7,16	1,96
	Coleta 5 ^c	2,00	20,00	0,13	5,90	46,00	60,00	1,16	5,27	3,67	1,85
	Coleta 6 ^c	2,00	8,00	0,06	6,50	16,00	284,00	0,47	4,60	4,44	1,71
	Média	3,00±3,6	12,00±5,1	0,09±0,05	6,56±0,6	38,00±15,7	68,80±110,1	0,84±0,3	5,06±0,4	4,26±1,6	1,76±0,1
P3	Coleta 1	50,00	14,00	0,38	6,80	NA ^a	0,00 ^b	6,38	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 2	32,00	8,00	0,22	6,90	NA ^a	5,00	3,42	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 3	26,00	4,00	0,27	6,40	NA ^a	11,00	3,50	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 4	52,00	10,00	0,11	7,20	50,00	18,00	1,17	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 5	0,00 ^b	8,00	0,14	6,00	23,00	30,00	0,49	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 6	3,00	12,00	0,38	6,20	60,00	74,00	0,63	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Média	27,17±20,4	9,33±3,2	0,25±0,1	6,58±0,4	44,33±15,6	23,00±24,7	2,60±2,1	-	-	-

P4	Coleta 1	4,00	14,00	0,05	6,80	NA	0,00	0,55	NA	NA	NA
	Coleta 2	17,00	4,00	0,72	6,90	NA	32,00	2,25	NA	NA	NA
	Coleta 3	28,00	4,00	0,26	6,50	NA	22,00	3,77	NA	NA	NA
	Coleta 4	15,00	12,00	0,19	7,30	30,00	54,00	2,22	NA	NA	NA
	Coleta 5	2,00	10,00	0,19	6,40	37,00	40,00	0,74	NA	NA	NA
	Coleta 6	1,00	6,00	0,17	6,30	69,00	82,00	0,31	NA	NA	NA
	Média	11,17±9,8	8,33±3,9	0,26±0,2	6,70±0,3	45,33±17	38,33±25,6	1,64±1,2	-	-	-
P5	Coleta 1	8,00	16,00	0,08	6,90	NA ^a	0,00 ^b	0,67	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 2	11,00	6,00	0,06	7,00	NA ^a	6,00	1,22	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 3	25,00	6,00	0,14	6,50	NA ^a	21,00	2,25	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 4	4,00	16,00	0,14	7,40	6,00	66,00	0,52	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 5	4,00	10,00	0,14	6,60	46,00	14,00	0,88	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 6	3,00	6,00	0,06	6,50	99,00	0,00 ^b	0,28	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Média	9,17±7,6	10,00±4,5	0,10±0,04	6,82±0,3	50,33±38,1	6,50±39,6	0,97±0,6	-	-	-
P6	Coleta 1	6,00	14,00	0,04	6,90	NA ^a	0,00 ^b	1,37	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 2	19,00	4,00	0,08	6,90	NA ^a	2,00	2,20	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 3	40,00	4,00	0,27	6,60	56,00	13,00	5,21	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 4	27,00	10,00	0,53	7,20	18,00	50,00	17,20	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 5	5,00	14,00	0,09	6,30	31,00	0,00 ^b	1,78	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 6	2,00	10,00	0,08	6,50	69,00	20,00	0,92	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Média	16,50±13,7	9,33±4,1	0,18±0,2	6,73±0,3	43,50±20,1	14,17±17,6	4,78±5,7	-	-	-
P7	Coleta 1	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 2	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 3 ^e	25,00	6,00	0,07	6,70	48,00	14,00	2,86	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 4 ^e	10,00	12,00	0,14	7,40	70,00	0,00	1,18	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 5 ^e	7,00	8,00	0,17	6,90	33,00	44,00	0,55	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 6 ^e	1,00	8,00	0,08	6,70	69,00	36,00	0,19	NA ^a	NA ^a	NA ^a

	Média	10,75±8,8	8,50±2,2	0,12±0,04	6,93±0,3	55,00±15,4	23,50±17,5	1,20±1,0	-	-	-
	Coleta 1	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 2	0,00 ^b	6,00	0,11	7,20	NA	35,00	4,09	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 3	20,00	6,00	0,18	6,70	NA	11,00	1,84	NA ^a	NA ^a	NA ^a
P8	Coleta 4	10,00	16,00	0,20	7,20	46,00	50,00	2,60	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 5	0,00 ^b	16,00	0,12	6,70	64,00	16,00	0,38	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Coleta 6	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a	NA ^a
	Média	7,50±8,3	11,00±5,0	0,15±0,04	6,95±0,3	55,00±9,0	28,00±15,5	2,23±1,3	-	-	-

^a Não analisado

^b Virtualmente zero (abaixo da gama dimensão)

^c Em azul, início da operação do sistema Caxambu implementado na nascente 2

^e Em amarelo, coletas nas quais foram realizadas os testes da Aqualuz®

Fonte: Autoria Própria (2022).

4.2.1.1 Parâmetros de pH, dureza e ferro

No P2, local de operação da Proteção de Fonte Modelo Caxambu, os valores do pH antes da instalação resultaram em uma média de $6,4 \pm 0,3$ e, após a instalação em $6,67 \pm 0,7$. O P1 seguiu entre a faixa observada no P2, assim como, os pontos dos reservatórios e pontos de distribuição. Comparando os valores com a Portaria GM/MS nº 888/2021, a qual determina um valor de pH entre 6,0 a 9,0, observou-se que apenas uma amostra do P2 apresentou resultado inferior ao recomendado, mas como foi um valor pontual e próximo ao recomendado não se faz alarmante para este estudo.

Os resultados para o parâmetro de dureza foram satisfatórios perante a Portaria GM/MS nº 888/2021. Observou-se que após 9 semanas da execução da Caxambu (coleta 5), o P2 apresentou uma elevação em 60% do parâmetro, a qual não foi significativa a ponto de ocasionar interferência na qualidade ou uso da água. Para a verificação se essa alteração durante a operação do sistema foi pontual ou não, cabe a continuação das análises. Ressalta-se que não foi utilizado cal como produto de limpeza do sistema, apenas água sanitária no momento de instalação da fonte.

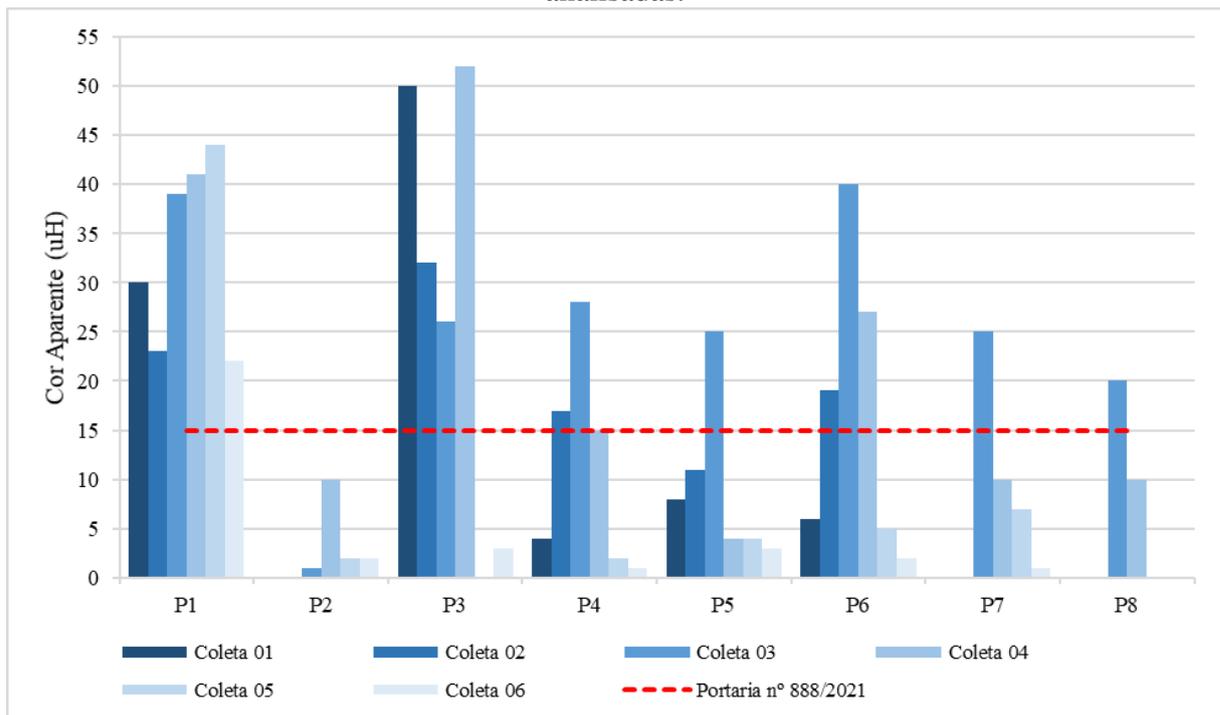
Os valores de ferro apresentaram alterações em algumas amostras pontuais do P1, P3, P4 e P6 - sendo a amostra com maior concentração de ferro (1,98 mg/l), decorrente do ponto de passagem da água da nascente 1 (P1). No mais, os pontos apresentaram concentrações de ferro dentro dos padrões da legislação de consumo humano de água. No P2, o ferro apresentou um aumento logo após a instalação da Caxambu, mas conforme a operação da tecnologia a concentração acabou por ser reduzida. Cabe destacar que concentrações acima dos VMPs pela Portaria GM/MS nº 888/2021 são permitidos desde que não ultrapassem 2,4 mg/L.

4.2.1.2 Parâmetros de cor, turbidez e sólidos

A cor aparente se mostrou acima do permitido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (15 uH) em maior parte das amostras dos pontos, com destaque para o ponto de captação 1 (P1) que obteve uma variação de 22 a 44 uH (média de $33,17 \pm 8,7$ uH), para o ponto antes do reservatório (P3) que resultou em valores entre 0 a 52 uH (média de $27,17 \pm 20,4$ uH) e para o ponto de distribuição P6 que obteve resultados entre 2 a 40 uH (média de $16,50 \pm 13,7$ uH). O P1, por estar exposto, apresentou valores acima do permitido em todas as coletas. Já o P3, com a

instalação do sistema Caxambu, obteve uma redução deste parâmetro nas duas últimas análises, no entanto é necessário avaliar melhor as condições da rede de adução que chega ao reservatório. Nos pontos de distribuição, em especial o P6, foi possível verificar uma diminuição do parâmetro nas três últimas coletas em conjunto com a diminuição da turbidez nos pontos. A exceção foi o P2 (ponto da nascente 2 e operação do sistema Caxambu) que se manteve com valores satisfatórios perante a portaria em questão, mas apresentou aumento do parâmetro após a instalação da tecnologia Caxambu, de 1 uH (coleta 3) passou para 10 uH (coleta 4). Este aumento pode ser explicado, devido a dispersão de ácidos húmicos e fúlvicos provenientes da decomposição das folhas que cobrem o sistema e dos procedimentos de limpeza, bem como a colocação de pedras que estavam no local. O parâmetro voltou a diminuir nas últimas análises (Figura 23), identificando uma estabilização do sistema após a instalação.

Figura 23 - Variação temporal e espacial dos valores de cor aparente das amostras de água analisadas.

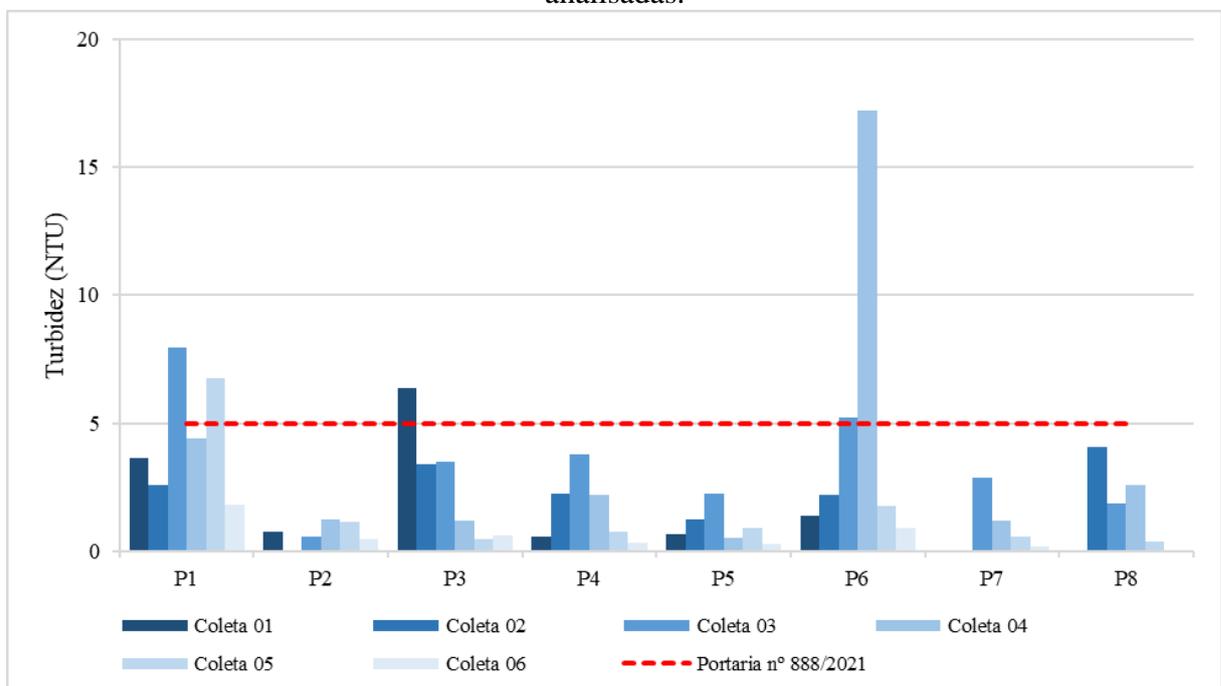


Fonte: Autoria Própria (2022).

A turbidez apresentou valores satisfatórios em grande parte das amostras, com alterações pontuais nos pontos P1, P3 e P6, como pode-se observar na Figura 24. No P1, notou-

se que duas amostras apresentaram valores acima do permitido para água para consumo, isto devido a exposição do local ao carreamento de sedimentos e vento. Em contrapartida, no P2 os valores permaneceram abaixo da legislação em todas as amostras, porém foi observado que após a execução da proteção de fonte os valores de turbidez aumentaram de 0,589 NTU (valor mínimo antes da implementação) para 1,25 NTU (depois de 8 semanas de operação da proteção). Após 11 semanas de operação da proteção de fonte, a turbidez diminuiu para 0,47 NTU, o que corrobora a melhora do isolamento da nascente e consequente impedimento da entrada de contaminantes e matéria orgânica.

Figura 24 -Variação temporal e espacial dos valores de turbidez das amostras de água analisadas.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Em comparação com a média de turbidez encontrada nas coletas antes da implantação da Caxambu com a turbidez encontrada na última coleta (sistema mais estabilizado), verificou-se uma redução de 29,9% do parâmetro. Bassi (1998 *apud* COMASSETTO et al., 2011) relata uma redução de cerca de 88% na turbidez com o uso da fonte modelo Caxambu e, Nez e Oliveira Junior (2019) relatam uma redução de 89%. A baixa redução encontrada nas análises deste trabalho pode ter influência de fatores como a cobertura vegetal do sistema ainda incompleta,

o não uso de brita após a camada de pedras e a qualidade da lona utilizada para vedação, pois foi colocada em uma camada simples (sem ser dobrada). Também, pode-se citar o período de estabilização da tecnologia evidenciado pela diminuição do parâmetro na última coleta, a qual ocorreu após eventos de chuva.

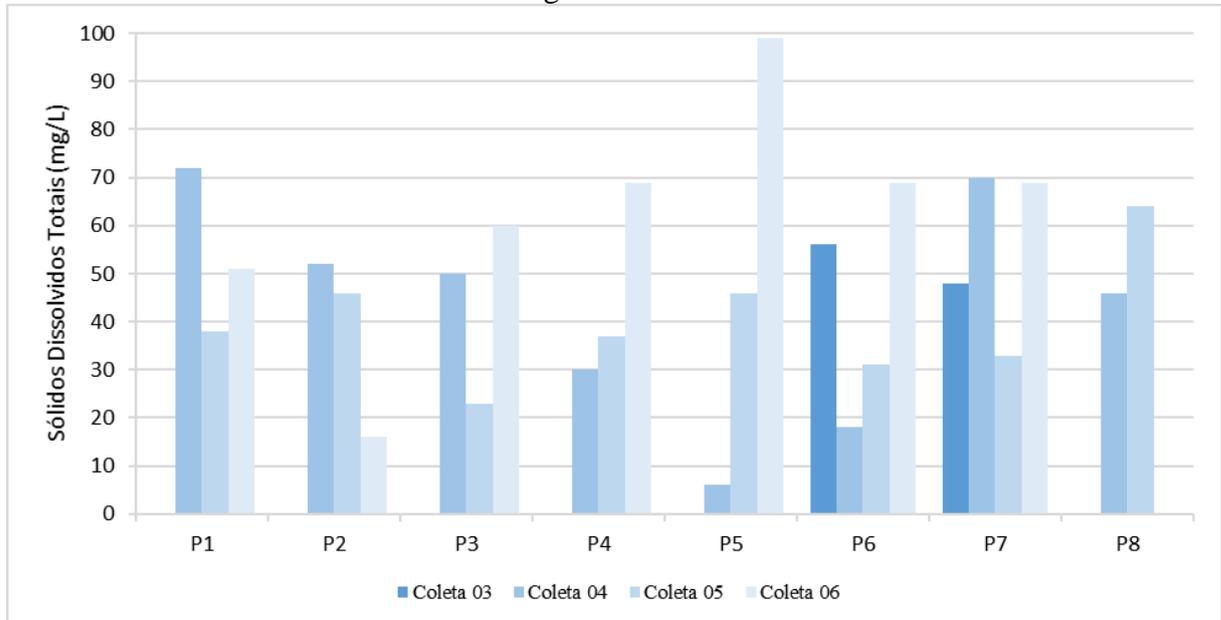
Outro ponto significativo que apresentou valores de turbidez além do permitido foi o P6. Neste ponto, notou-se um aumento após a realização dos procedimentos de limpeza nos locais de captação em novembro de 2021, chegando a apresentar o valor de 17,2 NTU na coleta 4, em janeiro de 2022. Nos pontos P3 e P4 (reservatórios) assim como nos outros pontos de distribuição, a turbidez se manteve satisfatória. Este evento no P6 pode indicar infiltrações e contaminação na rede de distribuição desse ponto de modo que evidencia a necessidade de acompanhamento antes e após eventos extremos (conforme comentado na seção 4.1), com a proposição de medidas corretivas visto que, sendo um ponto de distribuição, é utilizado para abastecer a tecnologia de desinfecção. Segundo Sommer (1997 *apud* VIEIRA et al., 2018), para eficiência da desinfecção por luz solar a água deve ter turbidez menor que 30 NTU, pois as partículas que ficam suspensas na água diminuem a incidência de radiação solar e, assim, protegem os microrganismos de serem destruídos. Caso a turbidez seja maior que 30 NTU, é necessário haver um pré-tratamento (VIEIRA et al., 2018).

Além do aspecto da eficiência na desinfecção, é relevante destacar que a Portaria GM/MS nº 888/2021 limita em 1,0 uT a turbidez em pontos pós desinfecção de água subterrâneas de 95% das análises semanais. Como no estudo não foram realizadas análises semanais, considerou-se este valor como fator de segurança o parâmetro. Desta maneira, observou-se que na coleta 3 e 4 os valores estão acima do considerado seguro – em provável consequência, além da turbidez proveniente do P6, da limpeza do equipamento.

Quanto aos sólidos dissolvidos totais, em todas as amostras os resultados foram satisfatórios perante a Portaria GM/MS nº 888/2021 estando abaixo do VMP de 500 mg/L (Figura 25). Os pontos P1 e P2 também apresentaram valores bem menores que 1.000 mg/L, máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 396/2008. A operação da proteção de fonte no P2, visto a proteção proporcionada contra escoamentos superficiais, diminuiu a quantidade de sólidos dissolvidos em 69%, considerando as três análises realizadas com a tecnologia em

operação. Ainda, os valores encontrados do parâmetro no ponto de distribuição utilizado para o teste da desinfecção não tiveram significativas alterações na eficiência do tratamento.

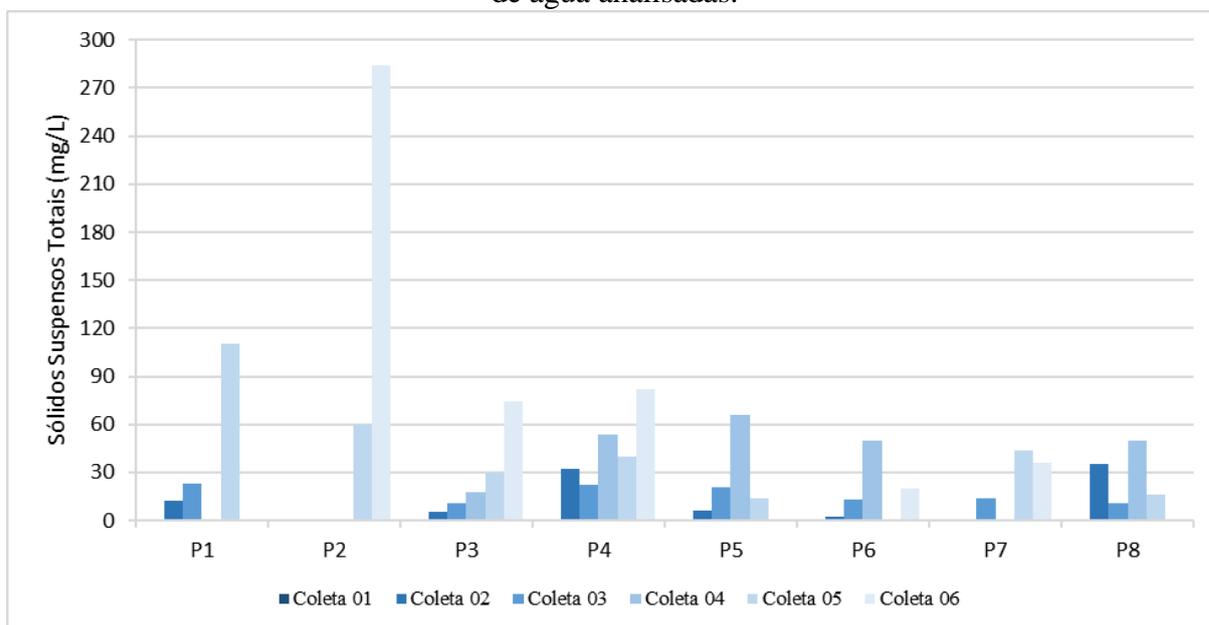
Figura 25 -Variação temporal e espacial dos valores de sólidos dissolvidos totais das amostras de água analisadas.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Já aos sólidos suspensos (Figura 26), estes não têm um VMP pela legislação e foram utilizados como indicadores de suporte nas análises tanto para verificar uma possível interferência na desinfecção da água no P7 quanto a operação da proteção de fonte aplicada no P2. No caso do P7, não foi notada influência significativa na capacidade da inativação dos patógenos na operação da Aqualuz®. Já na Caxambu (P2) notou-se um aumento do parâmetro nas duas últimas coletas, com possível influência da camada vegetal e da lona aplicada no sistema, pois esta é mais suscetível a furos e desgaste uma vez que se encontra entre camadas de pedras.

Figura 26 -Variação temporal e espacial dos valores de sólidos suspensos totais das amostras de água analisadas.



Fonte: Autoria Própria (2022).

4.2.1.3 Parâmetros de cloreto, sulfato e nitrato

Quanto ao parâmetro de nitrato, para Cajazeiras (2007), as concentrações de nitrato superiores a 5 mg/l indicam uma alteração da água, em especial por influência antrópica na qualidade da água subterrânea, podendo ser adotado como valor de alerta. Já para a Portaria GM/MS nº 888/2021 e Resolução CONAMA nº 396/2008, o valor permitido é de até 10 mg/L. Os valores encontrados para o P1 e P2 encontram-se abaixo dos descritos, bem como os parâmetros de cloreto e sulfato em comparação com as legislações. Assim, destacando a preservação da vegetação e do solo na região. Ressalta-se que os parâmetros sofreram elevações a partir de novembro, quando os locais de captação e a vegetação mais próxima foram alterados, mas voltaram a diminuir nas amostras seguintes. No caso do ponto de operação do sistema Caxambu (P2), na última análise (coleta 6), o parâmetro de sulfato teve um aumento que pode ser explicado devido aos eventos de chuva que ocorreram antes desta coleta.

4.2.1.4 Eficiência de operação da Fonte Modelo Caxambu perante os parâmetros físico-químicos

A implementação do sistema Caxambu, na nascente 2, ocasionou um aumento nos parâmetros físico-químicos analisados nesse ponto, o qual apresentou uma boa qualidade de água antes da instalação da tecnologia. Essa alteração era esperada devido ao revolvimento de sedimentos e limpeza do local, além da exportação de sólidos devido as pedras alocadas no sistema e a falta de cobertura vegetal completa. Assim, conforme a Tabela 4, a eficiência do sistema não se mostrou efetiva em termos de comparação do bloco de análises realizadas antes e depois da implementação da tecnologia. É importante salientar que a avaliação do bloco de análises antes da tecnologia foi feita com apenas 2 amostras, devido ao fato de não ter ocorrido a coleta 2 no ponto da nascente. Embora a eficiência não tenha sido satisfatória, salienta-se que os parâmetros se mantiveram de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021 e Resolução CONAMA nº 396/2008.

Tabela 4 - Eficiência de operação do sistema Caxambu referente aos parâmetros físico-químicos.

Parâmetro	Antes do sistema Caxambu				Depois do sistema Caxambu				Eficiência
	Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo	
Cor aparente (uH)	0,50	0,50	0,00	1,00	4,67	3,77	2,00	10,00	-89%
Dureza (mg/l)	12,00	4,00	8,00	16,00	12,00	5,66	8,00	20,00	0%
Ferro (mg/l)	0,06	0,04	0,02	0,10	0,12	0,00	0,06	0,16	-49%
pH	6,40	0,30	6,10	6,70	6,67	0,70	5,90	7,60	-4%
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	-	-	-	-	38,00	15,75	16,00	52,00	-
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	0,00	0,00	0,0	0,00	114,67	122,2	0,00	284,00	-100%
Turbidez (NTU)	0,67	0,08	0,59	0,75	0,96	0,35	0,47	1,25	-30%
Cloreto (mg/l)	4,85	0,29	4,56	5,14	5,20	0,47	4,60	5,74	-7%
Sulfato (mg/l)	3,00	0,34	2,67	3,34	5,09	1,49	3,67	7,16	-41%
Nitrato (mg/l)	1,64	0,06	1,58	1,71	1,84	0,10	1,71	1,96	-11%

Fonte: Autoria Própria (2022).

Devido ao curto tempo de operação analisado, não foi possível verificar por completo a estabilização da tecnologia. Deste modo, para compreender um pouco da dinâmica inicial da operação do modelo Caxambu, analisou-se também a eficiência dos parâmetros entre a coleta 4 (8 semanas de operação) e a coleta 6 (11 semanas de operação). O resultado está contemplado na Tabela 5.

Tabela 5 -Eficiência do sistema Caxambu entre a 8ª e 11ª semana de operação (parâmetros físico-químicos).

Parâmetro	8 semanas de operação	11 semanas de operação	Eficiência
Cor aparente (uH)	10	2	80%
Dureza (mg/l)	8	8	0%
Ferro (mg/l)	0,16	0,06	63%
pH	7,6	6,5	14%
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	52	16	69%
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	0	284	-100%
Turbidez (NTU)	1,25	0,47	62%
Cloreto (mg/l)	5,73	4,60	20%
Sulfato (mg/l)	7,1	4,44	38%
Nitrato (mg/l)	1,96	1,71	13%

Fonte: Autorial Própria (2022).

Durante as semanas analisadas, a tecnologia demonstrou avanços em sua estabilização e melhora da qualidade da água disponibilizada para captação. Ainda, estima-se a continuação dessa melhora ao longo do tempo visto que, a nascente se encontra protegida de futuras contaminações e será executada sua manutenção completa no final de março de 2022, assim, melhorando a qualidade da água no local. No caso da Aqualuz®, sua eficiência está entrelaçada aos parâmetros de coliformes e indicadores virais, discutidos na seção a seguir.

4.2.2 Avaliação dos parâmetros bacteriológicos e indicadores virais

Os resultados das análises bacteriológicas estão presentes na Tabela 6, com destaque em azul a operação do sistema Caxambu implementado na nascente 2 (P2) e em amarelo os testes da Aqualuz®. Observou-se que todos os pontos de análise apresentaram amostras com presença de coliformes totais e *E. coli*, com exceção do P2 que não apresentou presença de *E. coli*. A presença desses parâmetros indica contaminação da água, contaminação fecal no caso

da presença de *E. coli*, tanto devido a exposição da água (P1), falta de manutenção no filtro presente na aldeia e reservatórios danificados (P4), caixa d'água sem a devida manutenção (P5) como por contaminações na rede de adução e distribuição (P3, P5, P6 e P8) – o que indica falhas na integridade do sistema de abastecimento e evidencia o fácil acesso de animais, como cães, gatos e galinhas, a tubulação de distribuição de água. Como não é realizada a desinfecção da água, segundo o atual AISAN, há bastante incidência de doenças diarreicas na aldeia, especialmente entre as crianças.

Tabela 6 -Resultados das análises bacteriológicas.

Ponto	Análises bacteriológicas		
	Coleta	Coliformes Totais (NMP/100 ml)	<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)
P1	Coleta 1	2.419,6	4,1
	Coleta 2	2.419,6	12,2
	Coleta 3	9.804	10
	Coleta 4	24.966	Ausente
	Coleta 5	11.199	10
	Coleta 6	>2.419,6 ^b	13
P2	Coleta 1	>2.419,6 ^b	Ausente
	Coleta 2	NA ^a	NA ^a
	Coleta 3	422	Ausente
	Coleta 4 ^c	>2.419,6 ^b	Ausente
	Coleta 5 ^c	31	Ausente
	Coleta 6 ^c	156	Ausente
P3	Coleta 1	>2.419,6 ^b	27,9
	Coleta 2	8.664	20
	Coleta 3	10.462	Ausente
	Coleta 4	2.851	Ausente
	Coleta 5	12.033	Ausente
	Coleta 6	>2.419,6 ^b	10
P4	Coleta 1	1.732,9	1
	Coleta 2	>2.419,6 ^b	8,6
	Coleta 3	15.531	30
	Coleta 4	14.136	20
	Coleta 5	12.033	Ausente
	Coleta 6	>2.419,6 ^b	Ausente

P5	Coleta 1	1.553,1	6,3
	Coleta 2	>2.419,6 ^b	18,7
	Coleta 3	>2.419,6 ^b	40,2
	Coleta 4	>2.419,6 ^b	3,1
	Coleta 5	>2.419,6 ^b	1
	Coleta 6	2.419,6	Ausente
P6	Coleta 1	1.413,6	2
	Coleta 2	2.419,6	13,1
	Coleta 3	>2.419,6 ^b	16,9
	Coleta 4	>2.419,6 ^b	98,7
	Coleta 5	>2.419,6 ^b	Ausente
	Coleta 6	770,1	10
P7	Coleta 1	NA ^a	NA ^a
	Coleta 2 ^e	158,6	8,5
	Coleta 3 ^e	8,4	Ausente
	Coleta 4 ^e	Ausente	Ausente
	Coleta 5 (sensor positivo) ^e	1	Ausente
	Coleta 5 (ciclo de 4 horas) ^e	Ausente	Ausente
	Coleta 6 (sensor positivo) ^e	10,3	Ausente
Coleta 6 (ciclo de 4 horas) ^e	11	Ausente	
P8	Coleta 1	NA ^a	NA ^a
	Coleta 2	2.419,6	36,8
	Coleta 3	>2.419,6 ^b	16,9
	Coleta 4	>2.419,6 ^b	8
	Coleta 5	>2.419,6 ^b	1
	Coleta 6	NA ^a	NA ^a

^a Não Analisado

^b Acima de 2.419,6 NMP/100mL

^c Em azul, início da operação do sistema Caxambu implementado na nascente 2

^e Em amarelo, coletas nas quais foram realizadas os testes da Aqualuz®

Fonte: Autoria Própria (2022).

No P2, comparando as médias dos resultados antes e depois da instalação do sistema Caxambu, houve uma redução de cerca de 39% dos coliformes totais, conforme a Tabela 7. É necessário destacar que na coleta 4 os coliformes totais resultaram em valores muito acima do esperado devido à uma possível contaminação do frasco de coleta, pois foi notado, em laboratório, que a tampa estava danificada. Este ponto também apresentou um pequeno aumento na última coleta, o que pode ser relacionado à ocorrência de chuva nos dias anteriores a coleta. Assim, comparando a média dos resultados de coliformes totais anteriores a instalação do

modelo Caxambu ao resultado da coleta 5 (sem eventos de chuva anteriores a coleta) temos que, considerando um valor inicial médio de 1420,8 NMP/100mL e um valor final de 31 NMP/100mL houve uma redução de 97,8%. Já em relação ao resultado da coleta 6 (com eventos de chuva anteriores a coleta) temos que, do valor inicial médio de 1420,8 NPM/100mL ao valor final de 156 NPM/100mL foi obtida uma redução de 89%.

Tabela 7 - Eficiência de operação do sistema Caxambu referente aos parâmetros bacteriológicos.

Parâmetro	Antes do sistema Caxambu				Depois do sistema Caxambu				Eficiência
	Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo	
Coliformes Totais (NPM/100 ml)	1420,80	998,80	422,00	>2419,6 ^a	868,87	1097,72	31,00	>2419,6 ^a	39%
E. coli (NPM/100 ml)	Ausente	0	0	0	Ausente	0	0	0	Não houve alteração

^a Acima de 2.419,6 NMP/100mL

Fonte: Autoria Própria (2022).

Ainda, houve ausência de *E. coli* em todas as amostras, o que corrobora a conservação e qualidade da nascente no âmbito da Portaria GM/MS nº 888/2021 e Resolução CONAMA nº 396/2008, as quais determinam que a água para consumo humano deve apresentar ausência de *E. coli* em 100 ml. Ainda, é importante destacar que a água da nascente não é apropriada para consumo direto devido à presença de coliformes totais de modo que, necessita de um tratamento de desinfecção.

Na utilização da Aqualuz® (P7) com água proveniente do ponto de distribuição P6, observou-se que nas coletas de janeiro (coleta 4 e 5), nas quais as condições climáticas se apresentavam mais favoráveis (sol intenso), os resultados de coliformes totais passaram de um valor inicial acima de 2.419,6 NMP/100mL para 0 NMP/100mL - redução de 100%. Já na coleta que ocorreu em dia totalmente nublado (coleta 2), percebeu-se os valores resultantes foram de 2.419,6 NMP/100mL para 158,6 NMP/100mL - redução de 93,45%. Destaca-se que estes resultados foram encontrados com um ciclo de 4 horas.

Quanto a *E. coli*, a remoção foi de 100% (ausência do parâmetro na amostra pós desinfecção) nas amostras dos dias ensolarados e obteve uma queda de 13,1 NMP/100mL para

8,5 NMP/100mL, cerca de 35,11%, na amostra referente ao dia nublado (coleta 2). Nos testes para verificação dos dois ciclos (sensor positivo e ciclo de 4 horas), foi possível notar uma remoção de 100% (ausência do parâmetro na amostra pós desinfecção) de *E. coli* em ambos os ciclos. No entanto, para a remoção dos coliformes totais o ciclo de 4 horas obteve melhor resposta.

Na coleta 6, notou-se que a tecnologia foi mais eficiente no momento em que o sensor positivou do que no ciclo de maior duração. Este fato pode ter sido ocasionado por uma provável contaminação na torneira ou no frasco de coleta e pela variação das condições climáticas, parte do ciclo dia ensolarado e outra parte céu nublado. Na Tabela 8, estão apresentados os percentuais de remoção de patógenos das amostras analisadas.

Tabela 8 - Percentual de remoção de patógenos da Aqualuz®.

Coleta	Coliformes Totais (NMP/100 ml)		<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	
	Sensor Positivo	Ciclo de 4 horas	Sensor Positivo	Ciclo de 4 horas
	Coleta 2	NA	93,45%	NA
Coleta 3	NA	99,65%	NA	100%
Coleta 4	NA	100%	NA	100%
Coleta 5	99,96%	100%	100%	100%
Coleta 6	98,66%	98,57%	100%	100%

Fonte: Autoria Própria (2022).

Para a análise geral, apresentada na Tabela 9, foram consideradas todas as amostras, dias ensolarados e nublados, com o ciclo de 4 horas, durante o período de outubro de 2021 a fevereiro de 2022, exceto o mês de dezembro.

Tabela 9 - Eficiência de operação Aqualuz®.

Parâmetro	Ponto 6 (antes da Aqualuz®)				Ponto 7 (pós uso da Aqualuz®)				Eficiência
	Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo	
Coliformes Totais (NPM/100 ml)	2090	659,80	770,10	>2419,6 ^a	36	61,66	0,00	158,60	98,3%
<i>E. coli</i> (NPM/100 ml)	28	35,92	0,00	98,70	2	3,40	0,00	8,50	93,9%

^a Acima de 2.419,6 NMP/100mL

Fonte: Autoria Própria (2022).

Verificou-se que os coliformes totais apresentaram um valor inicial médio de 2090 NMP/100mL (considerando as amostras que tiveram resultados que estouraram a escala de NMP do método utilizado como 100%) e um valor final médio de 36 NMP/100mL (redução de 98,3%). Já a *E. coli* apresentou um valor inicial médio de 28 NMP/100mL e um valor final médio de 2 NMP/100mL (redução de 93,9%). Os resultados mostram que durante o período total analisado, o ciclo de 4 horas não foi suficiente para atingir o exigido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 e a eficiência designada pelo fabricante do equipamento. Ressalta também a necessidade de novas análises quanto à adequação do ciclo para cada estação do ano, conforme a radiação média na região.

Aliado ao resultado das análises do grupo coliformes, comparou-se as análises de detecção de bacteriófagos nos pontos do uso da Aqualuz® (Tabela 10). Estes dados foram tratados a partir da tabela de resultados iniciais (Apêndice A) de maneira a descartar os resultados discrepantes e incoerentes ocasionados por possíveis contaminações no momento das análises, e apresentados como as médias de concentração resultante.

Tabela 10 - Resultados das concentrações de fagos nos pontos P6 e P7.

Ponto	Detecção de bacteriófagos		
	Coleta	Colifago Somático (UFP/mL)	RNA F-específico (UFP/mL)
P6	Coleta 3	ND ^a	ND ^a
	Coleta 4	2x10 ¹	ND ^a
	Coleta 5	1,67 x10 ⁰	2,56x10 ¹
	Coleta 6	5,89x10 ¹	8,33 x10 ⁰
P7	Coleta 3	2,67x10 ¹	1x10 ¹
	Coleta 4	1,11x10 ¹	ND ^a
	Coleta 5	ND ^a	3,33 x10 ⁰
	Coleta 6	5,33x10 ¹	8,33x10 ⁰

^aNão detectado

Fonte: Autoria Própria (2022).

Mesmo com remoções satisfatórias em relação aos coliformes totais e *E. coli* nas análises bacteriológicas, foram encontradas concentrações de fagos dos grupos estudados no ponto de pós desinfecção, o que indica uma possível contaminação do sistema. Ainda, a análise da concentração dos fagos encontrados indica que a operação da tecnologia estudada, em um

cenário de possível contaminação, não foi suficiente para ser uma barreira em relação aos patógenos.

Analisando os percentuais de redução das concentrações de fagos (Tabela 11), notou-se que na coleta 5 (amostras que tiveram ausência de *E. coli* na entrada e saída do equipamento) a Aqualuz® teve capacidade de reduzir totalmente a concentração de fagos, referente ao grupo Colifago Somático, inicialmente de $1,67 \times 10^0$ UFP/mL. E, em relação a concentração dos fagos do grupo RNA F-específico, o equipamento reduziu de $2,56 \times 10^1$ UFP/mL para $3,33 \times 10^0$ UFP/mL – cerca de 86,96%. As alterações de concentração dos fagos na coleta 3 podem ter sido geradas pela falta de limpeza do equipamento. Ainda, cabe enfatizar que as melhores eficiências ocorreram com a operação do equipamento em dias ensolarados, porém, mesmo assim não foram satisfatórias quanto a eliminação dos patógenos.

Tabela 11 - Percentual de redução da concentração de fagos após a Aqualuz®.

Coleta	Colifago Somático (UFP/mL)	RNA F-específico (UFP/mL)
Coleta 3	0%	0%
Coleta 4	44,5%	0%
Coleta 5	100%	86,96%
Coleta 6	9,43%	0%

Fonte: Autoria Própria (2022).

Os resultados demonstram que há possível contaminação por vírus entéricos patogênicos sendo o grupo Colifago Somático modelo para enterovírus, o qual comumente infecta crianças, e o grupo RNA F-específico modelo para os norovírus que são os principais responsáveis pela gastroenterite viral nos adultos. O desempenho da tecnologia não se mostra totalmente eficiente devido à maior resistência que os vírus têm em relação aos coliformes e, também, devido aos fatores externos como limpeza do equipamento, condições climáticas e local de exposição. Portanto, há necessidade de mais análises para o entendimento da dinâmica da desinfecção, bem como aprimoramento da limpeza e uso do equipamento para gerar uma maior segurança na desinfecção da água.

No mais, verifica-se que a melhor opção de utilização da Aqualuz® é concluir inteiramente o ciclo de 4 horas nos dias ensolarados de verão e aumentar o ciclo nos dias

nublados e nas demais estações do ano, pois os testes que resultaram em maiores reduções do percentual de patógenos foram realizados em dias ensolarados e quentes de janeiro (coleta 4 e 5), entre 10 horas da manhã e 15 horas da tarde. Ainda, ressalta-se que é importante considerar que a limpeza adequada do equipamento pode ter influenciado os resultados das análises, pois nas coletas 2 e 3 o equipamento foi limpo apenas com um pouco de água e, nas coletas seguintes foi higienizado com álcool.

4.3 AVALIAÇÃO QUANTO A APLICABILIDADE E ACEITAÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS

4.3.1 Proteção de Fonte Modelo Caxambu

Avaliou-se que a Proteção de Fonte Modelo Caxambu apresenta baixo custo de instalação e manutenção, devido aos materiais básicos serem constituídos do tubo de concreto, tubos de PVC e utensílios como cap de PVC, tecido para tela, pedras, lona e água sanitária – materiais considerados de fácil acesso. Para a execução, os materiais foram adquiridos com os fundos provenientes do edital do Projeto Iara e apenas a manutenção futura será uma demanda da aldeia. A execução da tecnologia, foi realizada com auxílio de dez integrantes da aldeia de modo que foi possível a apropriação do conhecimento sobre a execução da tecnologia e sua manutenção. Assim, em conjunto com o baixo custo dos materiais e manutenção, a comunidade ganhou autonomia para disseminar e replicar a tecnologia.

As condições de operação e manutenção da tecnologia são simples e não demandam de um longo período de tempo, visto que o maior esforço é na sua construção. O maior cuidado se dá pelo acompanhamento da cobertura vegetal e pela verificação da tela presente na tubulação de ladrão. Os processos de operação e manutenção são de responsabilidade do AISAN da aldeia, o qual reagiu positivamente sobre as atividades de operação e manutenção da proteção de fonte. Quanto à vida útil da tecnologia, nota-se relatos positivos de operação do Modelo Caxambu pelas experiências da EPAGRI (2021), tanto na qualidade como na disponibilidade de água por mais de 20 anos. Desta maneira, para esta avaliação considera-se que a tecnologia agregará ao sistema de abastecimento de água na aldeia de maneira duradoura,

levando em conta que a manutenção é simples e, conseqüentemente, gera uma maior facilidade nos repasses de informação para os próximos AISANs da aldeia a fim de garantir a conservação da proteção de fonte.

Em campo, foi verificado que há uma boa vazão de água da proteção de fonte e não há vazamentos significativos pela barragem que serve de apoio para a Caxambu. O AISAN relatou que a disponibilidade de água aumentou e está constante. Deste modo, conclui-se que a tecnologia está conseguindo lacrar e canalizar a água da nascente de modo a conseguir abastecer a aldeia – nos pontos de distribuição que não chegam água, deduz que seja devido aos problemas da rede de distribuição visto que em campo foi verificado barulho constante de água nos reservatórios. Os principais indicadores para eficiência da tecnologia em relação a qualidade de água, turbidez e coliformes totais e fecais (COMASSETTO et al., 2011), apresentaram melhora durante a operação da tecnologia. Além disso, em campo, a qualidade visual da água após a implementação da tecnologia apresentou-se como muito boa.

O Modelo Caxambu, demonstrou ser eficiente na solução do problema da captação de água na aldeia apresentando resultados positivos nos aspectos de custo-benefício, duração, facilidade na manutenção e operação pelo AISAN, disponibilidade e qualidade de água bem como, na proteção da nascente. A tecnologia tem uma grande adaptabilidade com a paisagem ao seu entorno e não gera grandes alterações no meio ambiente e na cultura da aldeia. Além disso, a instalação da tecnologia na aldeia criou uma transformação social na comunidade pois, com o treinamento e conhecimento adquirido, a prática pode ser replicada pelos indígenas nas outras nascentes do território indígena como também em outras aldeias. É importante comentar que apenas essa tecnologia não é suficiente para entregar água potável para aldeia, é necessária uma tecnologia complementar para a desinfecção da água devido à presença de coliformes.

4.3.2 Aqualuz®

Em relação a tecnologia para desinfecção da água, Aqualuz®, as percepções sobre a aplicabilidade e possível aceitação da TS na aldeia foram referentes as observações e reflexões da pesquisadora visto que durante o período deste trabalho o equipamento não foi efetivamente instalado na aldeia e, sim, apenas testado. Devido a isto, também não há como avaliar

efetivamente as condições de armazenamento, uso e manutenção do equipamento pela população indígena para conservação do equipamento. Apenas estima-se, conforme o fabricante, uma vida útil de 20 anos para o equipamento

As condições de operação são simples, necessitando apenas do processo de enchimento do equipamento com água e monitoramento do tempo do ciclo. Há também a necessidade de uma estrutura, como uma mesa, para comportar o equipamento durante sua operação e que o mantenha fora do alcance das crianças e animais. Assim, a tecnologia como se apresenta não é totalmente aplicável na aldeia, pois no local não há estruturas suficientes para a alocação do equipamento. Para exemplo, nos testes o equipamento era deixado sobre uma carteira escolar ou sobre a pia comunitária – locais não propícios para o uso contínuo.

Tendo em mente a durabilidade, manutenção simples (apenas água e sabão, e acessórios como torneira de PVC) e a não utilização de materiais extras para operação, considera-se a tecnologia como de baixo custo no longo prazo – com investimento de aproximadamente R\$ 760,00 por unidade. A desvantagem do equipamento está na manutenção da tampa de vidro, a qual é moldada em fábrica e infere em custos financeiros e de logística – caso ela venha a ser danificada.

Nas análises realizadas, a Aqualuz® alcançou a eficiência de remoção de patógenos (coliformes totais e *E. coli*), descrita pelo fabricante (99,9%), em períodos ensolarados e com ciclo de 4 horas. Porém, na análise de detecção de bacteriófagos, foram encontradas nas amostras pós desinfecção concentrações de fagos referente a *E. coli* (e também a *Salmonella Typhimurium*), o que demonstra que ainda há necessidade de mais testes da tecnologia para verificar o ciclo de melhor operação e assim entregar de fato uma água de qualidade para a comunidade. Além disso, a tecnologia pode não ser eficiente nas estações de outono e inverno, devido ao menor nível de radiação, e não se mostra totalmente qualificada para aplicação em dias chuvosos. Desta forma, há a necessidade de adequações e inserção de metodologias complementares para suprir a demanda de água para consumo da comunidade. Verificou-se também que o sensor do equipamento demonstrou um controle menos preciso da desinfecção da água, o que pode influenciar na confiança de uso dos usuários. Cabe averiguar o sensor de outra unidade para comparação.

Ainda, por ciclo, são disponibilizados apenas 10 litros de água para consumo. Deste modo, há disponibilidade de 20 litros de água para consumo por equipamento, considerando dois ciclos. Pressupondo um consumo de cerca de 2 litros de água por pessoa (apenas para beber), o equipamento fornece água para 5 pessoas por ciclo. Assim, seriam necessários cerca de 18 equipamentos para suprir a demanda da aldeia no momento (180 pessoas), considerando os dias ensolarados. Outro ponto a ser levantado é o armazenamento da água após desinfecção, pois ao término do ciclo a água se mantém em uma temperatura alta e precisa ser resfriada. Conseqüentemente, há necessidade de locais de armazenamento da água em que não haja contaminação para que seja possível efetuar a distribuição da água e o equipamento seja liberado para poder operar outro ciclo.

Por fim, no âmbito das reflexões da pesquisadora sobre a Aqualuz® como método de desinfecção da água na Tekoá V'ya, considera-se que a tecnologia é apta em termos de qualidade na desinfecção, para ser aplicada na aldeia em conjunto com adaptações, para uso direto e em dias ensolarados. Quanto a aceitabilidade da comunidade indígena, foi observado certo interesse dos indivíduos em testar a água proveniente da tecnologia, pois o processo de desinfecção não altera o sabor nem a cor da água e o equipamento se adapta aos costumes da aldeia por não utilizar substâncias químicas, apenas luz solar. Assim, por meio das observações de campo, pode-se considerar que o equipamento foi tratado com curiosidade e com expectativas positivas por parte da aldeia, contudo ainda precisa ser avaliado na prática como será o seu uso e controle dos ciclos pelos usuários.

5 CONCLUSÕES

A Aldeia Mbyá-Guarani Tekoá V'ya, em Major Gercino/SC, encontra-se em situação de grande vulnerabilidade social – infraestrutura precária, falta de recursos e sem acesso a água com disponibilidade e qualidade segura. O sistema de abastecimento se mostrou inadequado, com falhas de dimensionamento e em sua manutenção. A qualidade da água distribuída apresentou significativas alterações de cor aparente, indicando a presença de matéria orgânica, e presença de coliformes em todos os pontos analisados, sendo este parâmetro o que mais contribuiu para a não potabilidade da água. A presença de *E. coli* em todos os pontos, exceto

na nascente 2, foi outro fator preocupante devido o indicativo de contaminação fecal nos pontos dos reservatórios e distribuição de água.

A instalação da Proteção de Fonte Modelo Caxambu demonstrou grande aplicabilidade na aldeia e provocou o aumento da disponibilidade e indicou a melhora na qualidade da água provinda da nascente 2. A Caxambu possui manutenção simples e de baixo custo, o que constitui proteção à nascente. Ela também se adapta bem na paisagem ao seu entorno e não gera alterações na vida cultural da aldeia, o que torna sua operação ainda mais vantajosa e aceita pela comunidade indígena. Cabe ressaltar que, apesar da melhora do parâmetro de coliformes totais na água, ainda é necessário que haja um tratamento posterior para que ela seja apta para o consumo humano.

A proposta de desinfecção pela utilização da luz solar por meio do equipamento Aqualuz® se mostrou efetiva na aldeia quanto a remoção dos patógenos durante o verão, nos dias de sol mais intenso – atendendo a Portaria GM/MS nº 888/2021. Considera-se sua aplicabilidade, para uso direto, dentro da comunidade indígena positiva, contudo, observando a estrutura da aldeia, somente se for operada em conjunto com adaptações como: definição de uma estrutura para exposição do equipamento ao sol, disposição do equipamento na aldeia por ele ser aplicável em nível doméstico, local de armazenamento da água tratada e alternativa de desinfecção para suprir a demanda. Ademais, a análise da qualidade da água nos pontos de distribuição mostrou que estes pontos estão aptos para receber a tecnologia, considerando o limite de 30 NTU de turbidez para o Método SODIS. Não foram verificadas influências bruscas na desinfecção por conta deste parâmetro, no entanto é necessária uma maior atenção para as condições da rede de distribuição de água na aldeia.

Por fim, foi observado que grande parte da contaminação da água é advinda do armazenamento e da rede de distribuição. Logo, as execuções das melhorias nos componentes do sistema de abastecimento existentes na aldeia também colaboram com a eficiência das tecnologias aplicadas.

6 RECOMENDAÇÕES

Para alcançar melhores resultados e aprimorar o uso das tecnologias sociais estudadas recomenda-se que, no caso do sistema Caxambu, haja a continuação das análises de água e execução das ações finais no sistema - aplicação da cobertura vegetal correta, verificação da lona e execução dos desvios de água provenientes do escoamento superficial. Além disso, para uma validação mais concreta da influência do sistema na disponibilidade de água na nascente, recomenda-se a realização de trabalhos futuros que incluam a medição de vazão em diferentes épocas do ano para, assim, avaliar de forma mais concreta a segurança hídrica gerada à comunidade indígena.

A instalação do equipamento Aqualuz®, deverá ocorrer em fases sendo a primeira referente à instalação de um protótipo para uso da aldeia, em março de 2022, para posterior instalação de mais equipamentos voltados a atender toda a comunidade, conforme o cronograma do Projeto Iara. Deste modo, recomenda-se que no verão os ciclos de uso do equipamento sejam de 4 horas em dias de sol mais intenso e 6 horas em dias nublados, e, na primavera sigam os ciclos de 5 horas em dias de sol mais intenso e 7 horas em dias nublados. Para as estações em que a radiação solar é menor, como o inverno, sugere-se a continuação das análises para verificar melhor o ciclo necessário para atingir a eficiência do fabricante de 99,9% e o recomendado pela Portaria GM/MS nº 888/2021. As análises são necessárias também para maiores aprimoramentos no uso do equipamento devido aos indicadores virais, os quais neste estudo resultaram na presença de concentrações de fagos dos grupos de Colifago Somático e RNA F-específico (mesmo após a desinfecção), o que indica uma possibilidade de contaminação por qualquer vírus entérico relacionado a esses grupos. Ainda, faz-se necessária a continuação deste trabalho para verificar a eficiência do equipamento em outros pontos da aldeia, seja de distribuição de água, como os pontos P5 e P8 ou nos locais de exposição a luz solar, o planejamento dos locais de instalação e nomeação dos responsáveis pela operação do equipamento.

Sugere-se a aplicação da Aqualuz® em conjunto com um filtro de barro, para armazenamento da água e como tecnologia complementar para suprir a demanda quando não for possível o uso da Aqualuz®. Também, recomenda-se o uso de fervura da água. No mais, sugere-se que o controle da desinfecção seja pelo tempo do ciclo e utilize-se o sensor apenas para orientação indireta. Para isto, é necessário que haja uma capacitação adequada sobre a

operação do equipamento no momento de instalação na aldeia. Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo da aplicação de metodologias para desinfecção da água em larga escala a fim de atender a demanda de outros usos que contribuem para a saúde adequada da aldeia, como higiene pessoal e preparação de alimentos.

Em síntese, é importante que o plano de monitoramento de água realizado neste trabalho tenha continuidade, por meio do Projeto Iara e Projeto de Extensão “Saneamento em aldeias indígenas de Santa Catarina” do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, para o acompanhamento da operação das tecnologias e da instalação do Modelo Caxambu na nascente 1, como também dos outros componentes do sistema de abastecimento. Assim, este estudo fornece a Tekoá V’ya um histórico de dados mais completo a fim de possibilitar um maior embasamento na luta para concretização dos direitos indígenas e na participação nos programas sociais existentes - visto que a aldeia ainda não está inserida no Programa de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano em Aldeias Indígenas executado pelo DSEI-ISUL. Concomitantemente, é de suma importância que sejam realizadas oficinas de capacitação técnica e de conscientização ambiental para promoção da independência e empoderamento dos moradores da aldeia quanto ao seu sistema de abastecimento de água.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, Mark H. **Bacteriophages**. Interscience Publishers, INC. New York. 1959.
- ALMEIDA, Raquel Gomes de. **Proteção de nascentes a partir do modelo caxambu: uma alternativa para as propriedades rurais do município de Caçador/SC**. 2015. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015. Disponível em: http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/22786/3/MD_GAMUNI_VI_2014_71.pdf. Acesso em: 12 dez. 2021.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- ANA. Agência Nacional do Águas. **ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/ods6>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- BAIRD, Rodger B.; EATON, Andrew D.; RICE, Eugene W. (ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. American Public Health Association, 2017.
- BATISTA, Kátia Mara. **Saberes tradicionais do povo Guarani Mbya como cultura de referência: contribuição teórica à sociobiodiversidade e à sustentabilidade ambiental**. 2017. 141 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5475/1/K%c3%a1tia%20Mara%20Batista.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

BRASIL. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde**. Série A: Normas e Manuais Técnicos. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília. 2006a. 252 p. Acesso em: 20 set. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 9.606, de 10 de dezembro de 2018**. Regulamenta o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água - Programa Cisternas. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9606.htm. Acesso em: 28 dez. 2021.

BRASIL. **Diretrizes para Monitoramento da Qualidade da Água para o Consumo Humano em Aldeias Indígenas: DMQAI/Ministério da Saúde**. Ministério da Saúde, Secretaria Especial de Saúde Indígena. Brasília. 2014. 108 p. Acesso em: 20 set. 2021.

BRASIL. **Inspeção sanitária em abastecimento de água**. Série A: Normas e Manuais Técnicos. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília. 2006b. 84 p. Acesso em: 15 dez. 2021.

BRASIL. **Lei nº 5.371, de 05 de dezembro de 1967**. Autoriza a instituição da "Fundação Nacional do Índio" e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/15371.htm. Acesso em: 25 nov. 2021.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm#art48ix.1. Acesso em: 25 nov. 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de junho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições

estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art7. Acesso em: 10 dez. 2021.

BRASIL. **Manual prático de análise de água**. Fundação Nacional de Saúde. 4 ed. Brasília, 2013. 150 p. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf. Acesso em: 10 set. 2021.

BRASIL. **Mapa de Aplicação da Lei nº 11.428/2006**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2006c. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/biomas/mata-atl%C3%A2ntica_emdesenvolvimento/mapas-da-mata-atl%C3%A2ntica.html#mapa-da-%C3%A1rea-de-aplica%C3%A7%C3%A3o-da-lei-n%C2%BA-11-428-de-2006. Acesso em: 05 mar. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS Nº 888, de 04 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 15 ago. 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em 15 de dez. 2021.

BRIGHENTI, Clovis Antônio. **Povos indígenas em Santa Catarina**. Etnohistória, História. Indígena e Educação: contribuições ao debate. Editora Pallotti, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 37-65, jan. 2012. Disponível em: <https://leiaufsc.files.wordpress.com/2013/08/povos-indc3adgenas-em-santa-catarina.pdf>. Acesso em: 28 out. 2021.

CAJAZEIRAS, Claudio Cesar de Aguiar. **Qualidade e uso das águas Subterrâneas e a relação com doenças de Veiculação Hídrica, Região do Crajubar/CE**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/316>. Acesso em: 12 fev. 2022.

CARLOS, Édison; FERREIRA FILHO, Rubens Amaral. **Saneamento e doenças de veiculação hídrica DATASUS e SNIS 2019**. Instituto Trata Brasil. São Paulo, set. 2021. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/images/estudos/saneamento-e-saude/Sum%C3%A1rio_Executivo_-_Saneamento_e_Sa%C3%BAde_2021__2.pdf. Acesso em: 03 jan. 2022.

CAVALLINI, Grasielle Soares; ARAUJO, Dayane Lira Barros da Silva; LIMA, Jordan Gabriel Freitas. **Desinfecção de água de poço por radiação solar (SODIS)**. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 5, n. Especial, p. 66-73, 31 out. 2018. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/5665>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CLIMATEMPO. **Dados históricos de chuva em Major Gercino**. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/4637/majorgercino-sc>. Acesso em: 18 jan. 2022.

COIMBRA JR., Carlos E. A. **Saúde e povos indígenas no Brasil: reflexões a partir do inquérito nacional de saúde e nutrição indígena**. Cadernos de Saúde Pública, [S.L.], v. 30, n.4, p. 855-859, abr. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311x00031214>. Acesso em: 09 jan. 2022.

COLMAN, Rosa Sebastiana.; AZEVEDO, Marta Maria do Amaral; ESTANISLAU, Bárbara Roberto. **Os Guarani e o seu modo de ser caminhante**. Ideias, Campinas, SP, v. 8, n. 2, p. 197–218, 2017. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ideias/article/view/8650128>. Acesso em: 15 dez. 2021.

COMASSETTO *et al.* **Qualidade da água de fontes superficiais modelo Caxambu em propriedades rurais do Oeste Catarinense**. Boletim Técnico Epagri, 155. Florianópolis. 2011. 29p.

COSTA, Adriana Guimarães. **Sistemas de abastecimento de água**. 2015. 156 f. Agência Nacional das Águas. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2102>. Acesso em: 20 dez. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Água da Fonte: Proteção de fonte modelo Caxambu**. 2. ed. Epagri/DEMC. Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/publicacoes/publicacoes-livres>. Acesso em: 05 jan. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Jovens rurais e Epagri protegem nascente na Serra Catarinense**. Jun. 2021. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/07/14/jovens-rurais-e-epagri-protectem-nascente-na-serra-catarinense/>. Acesso em: 01 dez. 2021.

ENGINEERS WITHOUT BORDERS - INTERNATIONAL. **Welcome to Engineers Without Borders-International**. Disponível em: <https://www.ewb-international.org>. Acesso em 23 set. 2021.

ESF – Florianópolis. **Acervo Fotográfico**. 2020-2021.

FERREIRA, Danielle Costa. **Tecnologias sociais, conhecimentos e práticas associadas ao uso da água em assentamento rural na Amazônia Central**. 2015. 98 f. Dissertação (Pós-Graduação) – Curso de Saúde, Sociedade e Endemias na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Instituto Leônidas e Maria Deane - ILMDFiocruz Amazônia, Manaus, 2015. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/4682/1/DANIELLE%20COSTA%20FERREIRA.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2021.

FERREIRA, Weruska Brasileiro. **Solução Alternativa de Abastecimento de Água para Consumo Humano em Comunidades Difusas: Monitoramento e Controle de Qualidade de Água**. 2008. 128 f. Dissertação (Pós-Graduação). Engenharia Química. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/9667/WERUSKA%20BRASILEIRO%20FERREIRA%20%e2%80%93%20DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20%28PPG%20EQ%29%202008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03 jan. 2022.

FREITAS, Marcos Alexandre de; ECKERT, Roque Mauro; CAYE, Braulio Robério. **Captações de água subterrânea no oeste do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM/SDM/EPAGRI, 2001. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/5373>. Acesso em: 31 jan. 2022.

FUNASA. **Inquérito Nacional de Saúde e Nutrição dos Povos Indígenas: relatório final (análise dos dados) nº 7**. Rio de Janeiro, dez. 2009. Disponível em: http://ecos-redenutri.bvs.br/tiki-download_file.php?fileId=1284. Acesso em: 09 jan. 2022.

GABRIEL, Vandrezza Amante; SILVA, Marilda Rosa Galvão Checcucci Gonçalves da. **Memória e Tradição Mbyá-Guarani no Tekoá Vy'a: implicações do desenvolvimento regional**. In: Desenvolvimento regional: processos, políticas e transformações territoriais, 2019, Santa Cruz do Sul. Anais do IX Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional. Universidade de Santa Cruz do Sul, 2019. p. 1-14. Acesso em: 28 out. 2021.

GARCIA JR, Carlos Alberto Severo; RIVOREDO, Carlos Roberto Soares Freire de; FLUMIAN, Raqueli Braga. **Tecnologias e dispositivos do apoio institucional em saúde indígena no Distrito Sanitário Especial Indígena Interior Sul, Estado de Santa Catarina.** Rev. Psicol. UNESP, Assis, v. 15, n. 2, p. 01-15, dez. 2016. Disponível em http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198490442016000200001&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 30 dez. 2021

GARCIA, Érica Natasha dos Anjos; MORENO, Diego Aparecido Alves Costa; FERNANDES, André Luís Valverde. **A importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 11, n. 6, 2015. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1259 . Acesso em: 06 dez. 2021.

HINRICHSEN, Sylvia. **Enterovírus: o que é, sintomas e tratamento.** Portal Tua Saúde. Jun. 2021a. Disponível em: <https://www.tuasaude.com/enterovirus/>.

HINRICHSEN, Sylvia. **Norovírus: o que é, sintomas, transmissão e tratamento.** Portal Tua Saúde. Out. 2021b. Disponível em: <https://www.tuasaude.com/norovirus/>.

HELLER, Léo. **Concepção de instalações para o abastecimento de água.** Abastecimento de água para consumo humano. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. Cap. 2. p. 65-104.

IBGE. **Base de Informações Geográficas e Estatísticas sobre os indígenas e quilombolas.** 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/27480-base-de-informacoes-sobre-os-povos-indigenas-e-quilombolas.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 20 dez. 2021.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2. ed. 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento Básico**. 2021. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br/estudos/rankingdosaneamento/itb/novorankingdosaneamento2021>. Acesso em 23 set. 2021.

ITS. INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL BRASIL. **Caderno Tecnologia Social - Conhecimento e Cidadania 1**. 2007. Disponível em: <http://itsbrasil.org.br/conheca/publicacoes/cadernos/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

KONCAGÜL, Engin; TRAN, Michael; CONNOR, Richard. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021: o valor da água**. UNESCO World Water Assessment Programme. 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por?posInSet=9&queryId=aec0bec4-5897-4727-a876-4eca05f4e87. Acesso em: 20 dez. 2021.

LADEIRA, Maria Inês. **Espaço Geográfico Guarani–Mbya: significado, constituição e uso**. 2001. 239 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia Humana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Acesso em: 28 out. 2021.

LERVOLINO, Luiz Fernando. **Cor em águas naturais**. Biblioteca: Portal de Tratamento de água. jul. 2021. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/cor-aguas-naturais/>. Acesso em 05 mar. 2022.

LIMA, Jacy Angélica de Moraes; *et al.* **Água e doenças relacionadas a água em comunidades da bacia hidrográfica do rio Uraricoera - Terra Indígena Yanomami - Roraima**. HYGEA, v. 14, n. 26, p. 136-154, 2018. Disponível em: <https://ds.saudeindigena.iciict.fiocruz.br/handle/bvs/1509>. Acesso em: 20 set. 2021.

MATIAS, William Gerson. **Notas de Aula: ENS 7006 – Qualidade de Água I**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 2019. Disponível em: <https://limaens.ufsc.br/pb/disciplinas-ministradas-no-lima/>. Acesso em: 20 set. 2021.

MORAIS, Juciela Brum Soares de. **SOLUÇÕES ALTERNATIVAS COLETIVAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: um desafio para a vigilância e o controle da qualidade da água no município de Matelândia/Pr.** 2014. 47 f. Monografia (Pós-Graduação) - Gestão Ambiental em Municípios, Polo UAB, Modalidade de Ensino a Distância, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/22576/3/MD_GAMUNI_VI_2014_45.pdf. Acesso em: 20 dez. 2021.

NEZ, Dinara de; OLIVEIRA JUNIOR, Sival Francisco de. **Implantação de Modelo Sustentável para Proteção de Nascente: Estudo de caso em pequena propriedade rural no município de Chapecó – SC.** II Seminário Internacional de Sustentabilidade. 2019. p 93-101. Disponível em: <https://unoesc.emnuvens.com.br/seminariosustentabilidade/article/download/21501/12582>. Acesso em: 05 mar. 2022.

ONU News. **Primeira brasileira vencedora do prêmio Jovens Campeões da Terra quer “salvar vidas na África”.** 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/09/1687132>. Acesso em: 15 dez. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Assembleia Geral: Resolução 64/292.** Index: A/RES/64/292. 3 ago. 2010. Disponível em: www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292. Acesso em 23 set. 2021.

PÁDUA, Valter Lúcio de. **Soluções alternativas desprovidas de rede.** Abastecimento de água para consumo humano. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. Cap. 7. p. 299-322.

PEREIRA, Lucio Alberto *et al.* **Avaliação de tratamento simplificado da água de cisterna: desinfecção solar (SODIS) para consumo humano.** 2014. Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva, 9., Feira de Santana. 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107132/1/Lucio.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2022.

PICHETH, S. F.; CASSANDRE, M. P.; THIOLENT, M. J. M. **Analisando a pesquisa-ação à luz dos princípios intervencionistas: um olhar comparativo**. Educação, v. 39, n. 4, p. s3-s13, 31 dez. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.15448/1981-2582.2016.s.24263>. Acesso em 31 de jan. 2022.

QUILLFELDT, Camila Dalmaz. **Estudo sobre o Saneamento da Aldeia Mbyá-Guarani Tekoá V'ya (Aldeia Feliz), Major Gercino/SC**: diagnóstico sobre o saneamento e proposições de soluções para o abastecimento de água e esgotamento sanitário da aldeia. 2021. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Acesso em: 09 ago. 2021.

ROSA, Odair Rogério. **Recuperação de nascentes a partir do modelo Caxambu. Uma alternativa para as propriedades rurais do município de Abdon Batista – SC**. 2018. 36 f. TCC (Graduação) - Gestão Ambiental em Municípios, Polo UAB, Modalidade de Ensino a Distância, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/22840/1/recuperacaonascentemodelocaxambu.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2021.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 1.846, de 20 de dezembro de 2018**. Regulamenta o serviço de abastecimento de água para consumo humano no Estado de Santa Catarina e estabelece outras providências. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/sc/decreto-n-1846-2018-santa-catarina-regulamenta-o-servico-de-abastecimento-de-agua-para-consumo-humano-no-estado-de-santa-catarina-e-estabelece-outras-providencias>. Acesso em: 07 jan. 2022.

SDW, Safe Drinking Water For All. **Aqualuz - Informações - Projeto Iara**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: florianopolis@esf-brasil.org. em: 16 set. 2021.

SDW, Sustainable Development & Water For All. **Aqualuz: Salvando vidas através da Água**. 2021b. Disponível em: <https://www.sdwforall.com.br/tecnologias/aqualuz> Acesso em: 12 dez. 2021.

SILVA, Jamile Dell Antonio da. **Diagnóstico sobre o saneamento em Terras Indígenas de Santa Catarina**: estudo de caso na aldeia Itaty do morro dos cavalos (Guarani, M'bya), Palhoça/SC. 2020. 133 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Acesso em: 10 set. 2021.

SILVA, Reijane Pinheiro da; DOURADO, Denise Gomes. **Saneamento e saúde em terras indígenas**. Tellus, Campo Grande, n. 40, p. 103-122, set. 2019. Disponível em: <https://www.tellus.ucdb.br/tellus/issue/view/41>. Acesso em: 26 dez. 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Painel de Informações sobre Saneamento**. 2020. Disponível em: <http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>. Acesso em: 10 nov. 2021.

SOUSA, António Manuel. **Bacteriófagos: características gerais, utilidades e aplicações biotecnológicas**. Monografia (Pós-Graduação) – Microbiologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS99UJCW/1/monografia_antonio_verfinal_16_04_2012.pdf. Acesso em: 03 fev. 2022.

SUNTTI, Carla; DALLAZEM, Mayara. **Análise da qualidade de fontes naturais do interior doo município de Rio das Antas – SC protegidas ou não por sistema caxambu**. Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Videira, v. 1, p. e10782, 2016. Disponível em: <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/apeuv/article/view/10782> . Acesso em: 12 dez. 2021.

TAVARES, T. de M.; CARDOSO, D. das D. de P.; DE BRITO, W. M. E. D. **Vírus Entéricos Veiculados por Água: Aspectos Microbiológicos e de Controle da Qualidade da Água**. Revista de Patologia Tropical / Journal of Tropical Pathology, [S. l.], v. 34, n. 2, 2007. DOI: 10.5216/rpt.v34i2.1914. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/iptsp/article/view/1914>. Acesso em: 03 fev. 2022.

TRIPP, David. **Pesquisa-ação: uma introdução metodológica**. Educação e pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, set./dez. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-97022005000300009>. Acesso em 27 de jan. 2022.

TSGA. Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água. **TECNOLOGIA SOCIAL: Proteção de Fonte Modelo Caxambu**. 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/132542/banner%20Caxambu%20TSGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 out. 2021.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

TUMELERO, Naína. **Pesquisa-ação: material completo desde o ciclo básico às organizações**. Mettzer. 2019. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/pesquisa-acao/>. Acesso em: 08 jan. 2022.

UNICEF. **Pobreza na Infância e Adolescência**. Brasília. 2018. Disponível em: https://www.unicef.org/brazil/media/156/file/Pobreza_na_Infancia_e_na_Adolescencia.pdf. Acesso em 10 jan. 2022.

VIEIRA, Bruno Müller et al. **Avaliação da eficiência do método SODIS na desinfecção da água para consumo humano em Pelotas/RS**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.9, n.7, p.158-170, 2018. Disponível em: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/2559>. Acesso em: 07 jan. 2022.

WREGGE, Marcos Silveira; STEINMETZ, Silvio; REISSER JUNIOR, Carlos.; ALMEIDA, Ivan Rodrigues de. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2 ed. Brasília, DF. Embrapa. 2012. 333 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1045852>. Acesso em: 05 mar. 2022.

APÊNDICE A – Detecção de bacteriófagos: resultados iniciais das concentrações de fagos.

Ponto de coleta	Diluição	Coleta 3		Coleta 4		Coleta 5		Coleta 6		
		Colifago Somático (UFP/mL)	RNA F-específico (UFP/mL)							
P6	P6.1	(-1)	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	1x10 ¹	ND ^a	1,1x10 ²	8x10 ¹
		(-2)	6x10 ²	ND ^a	ND ^a	ND ^a	1x10 ²	ND ^a	8x10 ²	ND ^a
		(-3)	ND	ND ^a	ND ^a	3x10 ³	ND ^a	ND ^a	2x10 ³	ND ^a
	P6.2	(-1)	ND ^a	ND ^a	6x10 ¹	ND ^a	ND ^a	1,3x10 ²	1,2x10 ²	5x10 ¹
		(-2)	3x10 ²	ND ^a	3x10 ²	1,3x10 ³	ND ^a	1x10 ²	ND ^a	2x10 ²
		(-3)	ND ^a	ND ^a	ND ^a	4x10 ³	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a
	P6.3	(-1)	ND ^a	ND ^a	6x10 ¹	ND ^a	ND ^a	ND ^a	8x10 ¹	ND ^a
		(-2)	9x10 ²	ND ^a	1,1x10 ³	2x10 ²	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a
		(-3)	8x10 ³	ND ^a	ND ^a	3x10 ³	3x10 ³	ND ^a	ND ^a	ND ^a
P7	P7.1	(-1)	ND ^a	3x10 ¹	1x10 ¹	ND ^a	ND ^a	ND ^a	1,6x10 ²	5x10 ¹
		(-2)	6x10 ²	1,1x10 ³	2x10 ²	ND ^a	ND ^a	ND ^a	1,0x10 ³	3x10 ²
		(-3)	5x10 ³	3,1x10 ⁴	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	8x10 ³	ND ^a
	P7.2	(-1)	8x10 ¹	ND ^a	5x10 ¹	ND	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a
		(-2)	3x10 ²	4x10 ²	7x10 ²	4x10 ²	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a
		(-3)	1,0x10 ⁴	7x10 ³	ND ^a	9x10 ³	ND ^a	7x10 ³	ND ^a	ND ^a
	P7.3	(-1)	ND ^a	ND ^a	1x10 ¹	ND ^a	ND ^a	3x10 ¹	ND ^a	ND ^a
		(-2)	1,0x10 ³	2x10 ²	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a
		(-3)	1,0x10 ⁴	1,1x10 ⁴	ND ^a	3x10 ³	ND ^a	ND ^a	ND ^a	ND ^a

^aNão detectado

Fonte: Autoria Própria (2022)

ANEXO A – Banner explicativo: Proteção Fonte Modelo Caxambu.



**Engenheiros
Sem Fronteiras
Núcleo Florianópolis**

Projeto Iara

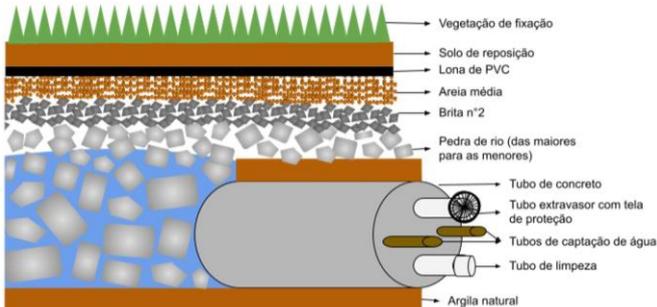
PROTEÇÃO DE FONTE MODELO CAXAMBU

GUARANI-MBYA TEKOÁ V'YA (ALDEIA FELIZ)



PROTEÇÃO DE FONTE MODELO CAXAMBU

A proposta do projeto inclui a melhora na captação de água das duas nascentes que abastecem a aldeia por meio da instalação das proteções de fonte modelo Caxambu. A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) desenvolveu, no final da década de 1980, essa tecnologia modelo para proteger as nascentes e garantir a disponibilidade de água na captação. A proteção de fonte modelo Caxambu é uma tecnologia social de baixo custo e fácil operação, que contribui para diminuir a turbidez da água disponível. (EPAGRI, 2019)



COMO FAZER

1. Limpeza da nascente, com retirada de sujeira e lodo superficial.
2. Abertura de uma vala para colocação de um tubo de concreto.
3. Um dos lados do tubo deve ser mantido aberto para o interior da vala e outro para o exterior, parcialmente fechado, com 4 saídas: uma para o cano-ladrão, na parte superior; uma para o cano de limpeza, na parte inferior; e 2 canos para captação da água, na parte central do tubo.
4. Assentar o tubo no fundo da vala com massa de barro e concreto.
5. Preencher com uma camada de pedra de rio, até cobrir totalmente o tubo de concreto, das pedras maiores para as menores.
6. Adicionar mais duas camadas de brita nº2 e areia média.
7. Vedar com lona de PVC.
8. Completar com terra até o nível original do solo.
9. Plantar vegetação de fixação.

(TSGA, 2021)



Proteção de fonte modelo Caxambu
(EPAGRI, 2015)

MATERIAIS

- Tubo de concreto de 20 cm de diâmetro
- Cano de 30 cm de comprimento, 40 mm de diâmetro de PVC
- Cano de 30 cm de comprimento, 25 mm de diâmetro de PVC
- Cap PVC 40 mm
- Tela mosquiteiro
- Saca de cimento
- Pedra de rio
- Brita nº 02
- Areia média
- Lona plástica

MANUTENÇÃO

Recomenda-se que a manutenção de fonte seja feita duas vezes por ano:

- Abertura do cano de limpeza para a retirada de sedimentos acumulados no fundo do tubo e da fonte. (TSGA, 2021)
- Adição de 1 litro de água sanitária no tubo de desinfecção. (EPAGRI, 2015)

A proteção de fonte modelo Caxambu não fornece água potável, sendo necessário a desinfecção da mesma antes do consumo.

Fonte: ESF - Florianópolis (2021).