

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de São Carlos

Perigos e riscos associados à
captação de água superficial: uma
contribuição ao Plano de Segurança
da Água de São Carlos (SP)

Bianca de Souto Homrich

Orientador: Prof. Dr. Davi Gasparini

Fernandes Cunha

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANEAMENTO**

BIANCA DE SOUTO HOMRICH

**Perigos e riscos associados à captação de água superficial: uma contribuição
ao Plano de Segurança da Água de São Carlos (SP)**

**São Carlos (SP)
2023**

BIANCA DE SOUTO HOMRICH

**Perigos e riscos associados à captação de água superficial: uma contribuição
ao Plano de Segurança da Água de São Carlos (SP)**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento.

**Orientador: Prof. Assoc. Davi Gasparini
Fernandes Cunha**

VERSÃO CORRIGIDA

**São Carlos (SP)
2023**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

H
763p

Homrich, Bianca de Souto
Perigos e riscos associados à captação de água superficial: uma contribuição ao Plano de Segurança da Água de São Carlos (SP) / Bianca de Souto Homrich; orientador Davi Gasparini Fernandes Cunha. São Carlos, 2023.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2023.

1. abastecimento de água. 2. gestão de recursos hídricos. 3. gestão de riscos. 4. segurança hídrica. 5. qualidade da água. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **BIANCA DE SOUTO HOMRICH**.

Título da dissertação: "Perigos e riscos associados à captação de água superficial: uma contribuição ao Plano de Segurança da Água de São Carlos (SP)".

Data da defesa: 20/07/2023.

Comissão Julgadora

Resultado

Prof. Associado **Davi Gasparini Fernandes Cunha**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)

APROVADA

Prof. Dr. **Erich Kellner**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADA

Profa. Dra. **Cali Laguna Achon**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Prof. Associado **Juliano Jose Corbi**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Carlos De Marqui Junior**

Dedico esta dissertação à todas as mulheres que me precederam e abriram os caminhos, às custas de muito sangue, suor e lágrimas, para que eu pudesse estar aqui, hoje, fazendo ciência.

AGRADECIMENTOS

Durante a realização deste mestrado, me defrontei muitas vezes comigo mesma e experimentei um pouco do que era ser meu próprio algoz. Desacreditei que conseguiria chegar ao fim do processo muito mais vezes do que o contrário. A jornada acadêmica, dentro do recorte do Brasil, no período de uma pandemia, foi intensa, solitária, difícil, mal remunerada e muito pouco valorizada socialmente. Quem vive essa trajetória, apesar de todos os percalços e empecilhos, tem a minha admiração!

Agora, quando finalmente me coloco diante do último parágrafo da minha vida enquanto mestranda, nem sequer consigo respirar aliviada, porque ainda não acredito que estou aqui. De algum jeito, eu cheguei, aos trancos e barrancos, dedicando tudo que pude e um pouco mais.

No livro “O Sol é para todos”, de Harper Lee, o personagem Atticus diz que a coragem é você saber que está derrotado antes de sequer começar, mas começar assim mesmo, e ir até o fim, apesar de tudo. Pois bem, foram pouco mais de dois anos de coragem que me permitiram concluir esta pós-graduação. Todavia, longe de mim dizer que fiz isso tudo por mérito unicamente meu. A verdade é que eu precisei de muita gente, que fomentou, dia após dia, um pouquinho de coragem dentro de mim. Por isso, uso esse espacinho pra apresentar meus singelos agradecimentos a quem esteve comigo.

Aos meus pais, irmã, namorado, família como um todos e amigos, que permaneceram do meu lado em cada dia desse processo, mesmo que a distância, eu nunca terei como agradecer o suficiente por receber tanto apoio. Em cada momento em que me perdi em mim e achei que o mundo ia me engolir, vocês estiveram lá para me dizer que ia ficar tudo bem. Agradeço em especial ao que dispuseram do seu tempo para me auxiliar nas minhas dificuldades, fossem elas pessoais ou acadêmicas (Lucas Costa e Giu Cunha, nunca agradecerei de forma justa a ajuda de vocês). Obrigada por me dar suporte pra prosseguir!

À lanca Miranda a primeira pessoa que me apoiou nesse processo e também a que segurou minha mão até o fim, nos momentos de extrema alegria e naqueles em que eu fui tão fundo. Obrigada por dividir comigo um pouco da nossa história, uma casa e o seu coração! Não foi fácil, mas sem você pra insistir que eu comesse nos dias em que eu nem conseguia engolir nada, eu não estaria entregando esta dissertação. Você foi uma amiga como poucas, me compreendendo e passando comigo por esta fase em todos os seus aspectos. Obrigada pelo companheirismo e amizade, em todas as nuances dessas palavras. Que você brilhe e ganhe o mundo e eu possa estar acompanhando tudo!

Ao professor Paulo Eduardo Cunha, que me incentivou a participar do processo seletivo para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento (PPG-SHS), trabalhando comigo num projeto para que eu pudesse me inscrever na seleção, vendo o *lattes* dos possíveis orientadores um por um e me auxiliando num momento em que eu entendia muito pouco do que era pós-graduação. O senhor é

uma peça fundamental na minha formação e sabe disso. Obrigada pelo carinho e disponibilidade de sempre!

Aos colegas, docentes e técnicos do PPG-SHS, bem como toda a comunidade da USP com quem pude aprender tanto nos últimos anos. Vocês me ajudaram a expandir meus horizontes!

Ao SAAE São Carlos, sobretudo nas pessoas de Leila, Renata, Cleofas, Lucas, Mauro e Maurílio, que se dispuseram com tanta presteza a me auxiliar no que fosse necessário para a elaboração da minha pesquisa e de quem tive a honra de acompanhar um pouco do trabalho maravilhoso que fazem. Muito obrigada pela forma atenciosa como me receberam e me trataram, seria impossível avançar nesta pesquisa sem a ajuda de vocês. Espero que este trabalho possa retornar para o SAAE um pouquinho do que recebi de tão bom coração!

Às professoras Joana Darc Freire de Medeiros e Katia Sakihama Ventura, que tão gentilmente se dispuseram a participar da banca de qualificação desta pesquisa e trouxeram contribuições imprescindíveis para o desenvolvimento desta dissertação, muito obrigada pela generosidade!

A todos que compõe e já compuseram o BIOTACE, pela acolhida e pela disponibilidade enorme em ajudar. Vocês serão sempre minha referência do que é fazer ciência! À Adriana Miwa e Murilo Ferreira, pelo carinho e atenção em todos os dias que estive no laboratório. À Karen Zambrano, que foi incansável em me auxiliar desde o início, quando essa dissertação ainda nem era um projeto de qualificação. Sua inteligência e generosidade foram fundamentais para a construção desta pesquisa!

Aos meus companheiros de todos os momentos, João Bega e Ana Paula Bragion, que foram amor (e que me permita Criolo contradizê-lo, porque vocês me mostraram que pode existir amor em SP). Meus queridos amigos, desejo que nada no mundo tire o brilho que vocês dois tem e que, daqui a um par de décadas, possamos estar jogando conversa fora e perceber o quanto a vida foi boa com a gente! Agradeço a João pela companhia e amizade. Sua alegria, irreverência e carinho trouxeram luz à minha jornada. Obrigada pelos brownies, memes e por me ouvir. Você é uma pessoa incrível que todo mundo merecia ter por perto! Desejo que você conquiste tudo que a sua imaginação for capaz de conceber e muito mais! À Ana (estendendo ao Fernando o meu carinho) agradeço por ser você. Como é que eu poderia agradecer o bastante por encontrar, num meio tão improvável, a pessoa mais querida do mundo inteiro? Queria ter podido ser uma amiga melhor pra você e, por isso e muito mais, vou ter uma dívida contigo a vida inteira. Obrigada por dividir esses dois anos comigo, de perto e de longe, sendo afago e fortaleza em momentos tão cruciais. Você é de uma dedicação tão grande em tudo que faz, que é difícil desejar qualquer coisa, porque eu sei que você vai ser muito feliz. Por isso, desejo que você encontre, pelo caminho, pessoas tão boas quanto você e que saiam por aí espalhando o bem, como você faz com maestria.

Por fim, agradeço de todo coração ao meu orientador Davi Gasparini Fernandes Cunha, um homem nobre em sua totalidade. Sei que não fui a orientanda que poderia ter sido e gostaria, imensamente, de poder ter sido muito mais do que eu

fui, porque o senhor merece só o melhor de tudo. Apesar das minhas dificuldades, em nenhum momento senti que tinha alguém para enfrentar, como é frequente nos relatos de alunos da pós. Pelo contrário, tive no meu orientador alguém que me deu suporte em todos os momentos. Sou muito muito grata por encontrá-lo! Sem conhecer ninguém no programa, o escolhi como orientador, por pura “sorte” e o senhor me escolheu de volta. Dentre tudo que poderia ser, tive a benção de ser orientada por uma pessoa de tamanha gentileza. Gostaria de ter podido extrair muito mais da pessoa brilhante que o senhor é, mas sei que os laços não se encerram por aqui e, se a vida assim permitir, espero tê-lo como um amigo a partir daqui. Não preciso desejar que o seu futuro seja maravilhoso, porque eu sei que será, porque já é! Desejo então que nunca perca a humanidade que lhe é tão própria e que sua trajetória, profissional e pessoal, seja sempre de amor e harmonia.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, à qual agradeço o apoio e incentivo. Estendo esse agradecimento ao povo brasileiro, sobretudo à classe trabalhadora, que indiretamente custeou a minha pesquisa e a minha formação acadêmica na UFRN e na USP, universidades públicas de notória excelência. Espero cumprir com honra a minha função enquanto cidadã, retribuindo todo o investimento que foi feito em mim na construção de um Brasil mais justo, sustentável e humano.

Sobre a coragem, Harper Lee acrescenta ainda que raramente a gente vence, mas as vezes consegue. Pois bem, eu consegui! Ou melhor, nós conseguimos. E isso é lindo! Para todos que pensam que não há saída, vocês são fortes e vão conseguir também. Eu acredito em vocês!

“Eu acho que a gente tá aqui pra se admirar. Pra admirar. Pra perguntar. E admirando as grandes coisas e perguntando sobre as grandes coisas é que a gente vai aprendendo as coisas pequenas, quase que por acaso. Mas a gente nunca sabe mais sobre as grandes coisas do que sabia quando começou.”

(A Cor púrpura, Alice Walker, 1982, p. 244)

RESUMO

HOMRICH, B. de S. **Perigos e riscos associados à captação de água superficial: uma contribuição ao Plano de Segurança da Água de São Carlos (SP)**. 2023. 190 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

Os componentes de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) podem ser afetados por fatores naturais ou oriundos da ação humana que oferecem riscos à segurança hídrica do sistema. Os mananciais utilizados para o abastecimento público, por exemplo, estão sujeitos à influência do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica em que está localizada a captação. O Plano de Segurança da Água (PSA) é um instrumento de gestão preventivista, com foco na identificação de perigos e análise dos riscos aos quais o SAA está exposto, visando à manutenção da qualidade da água. O objetivo desta pesquisa foi comparar os riscos nas sub-bacias do Ribeirão do Feijão e do Rio Monjolinho, que abrigam mananciais de captação para o abastecimento público de um município de médio porte (São Carlos, SP), com foco na etapa de captação do SAA local. A identificação dos perigos partiu de uma revisão sistemática sobre o tema, que resultou em uma listagem de 159 perigos ou eventos perigosos associados aos SAA, sendo 69 considerados aplicáveis às captações superficiais de São Carlos. Foi realizada visita de campo aos mananciais e suas respectivas estruturas de captação para validação dos dados. Os perigos foram avaliados por meio de uma matriz semiquantitativa de priorização de riscos, conforme a metodologia descrita pela Organização Mundial da Saúde e pelo Ministério da Saúde do Brasil. A estimativa da frequência e severidade dos perigos se deu a partir de informações fornecidas pelo SAAE São Carlos, responsável pela gestão do SAA. Incluiu-se na estimativa dos riscos, como ferramenta auxiliar, a avaliação de dados de qualidade da água bruta monitorados pelo SAAE (cor verdadeira, turbidez, pH, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes) e a confecção de mapas de uso e ocupação do solo, no período de 2014 a 2021. Foram avaliadas não conformidades quanto aos valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, seguindo o enquadramento dos corpos hídricos estudados. Verificou-se que as porcentagens de não conformidade foram maiores na sub-bacia do Rio Monjolinho para todas as variáveis, exceto para o pH. Os resultados indicaram que a diferença no uso e ocupação do solo nas sub-bacias influenciou nos riscos aos quais as captações estão submetidas. Em decorrência de uma maior ocupação urbana e agrícola na sub-bacia do Rio Monjolinho, a captação neste manancial esteve sujeita a uma maior quantidade de perigos de risco “muito alto” e a níveis de risco em geral mais elevados quando houve divergência no nível de risco entre esta e a outra captação, a do Feijão. A presente pesquisa contribuiu para a compreensão da influência das aptidões e vulnerabilidades da bacia hidrográfica para a segurança hídrica dos mananciais utilizados para o abastecimento público, ressaltando a importância de avaliar as características locais na elaboração de um PSA e de integrá-lo aos planos de bacia.

Palavras-chave: Abastecimento de água; gestão de recursos hídricos; gestão de riscos; segurança hídrica; qualidade da água.

ABSTRACT

HOMRICH, B. de S. **Hazards and risks associated to surface water withdrawals: a contribution to the Water Safety Plan of São Carlos (SP, Brazil)**. 2023. 190 f. Dissertation (Master of Science) – São Carlos Engineer School, São Paulo University, São Carlos, 2023.

The components of a Water Supply System (WSS) can be affected by factors that offer risks to the water safety of the system. For example, the water sources for public supply can be influenced by the land use patterns on the watershed where the withdrawal is installed. The Water Safety Plan (WSP) is a preventive management method that aims to maintain water quality, focusing on hazard identification and risk management approach to which a WSS is exposed. This research aimed to compare the risks in the watersheds of 'Ribeirão do Feijão' and 'Rio Monjolinho', which shelter the water sources where the surface water withdrawals for public supply take place in a medium-sized municipality (São Carlos, SP, Brazil), focusing on the withdrawal component of the WSS. The identification of hazards began with a systematic review of the literature, which resulted in a list of 159 hazards or hazardous events associated with the WSS. Sixty-nine of them were considered applicable to the studied surface withdrawals in the municipality. A site visit to both catchments' area was carried out to validate the data. The hazards were assessed using a semi-quantitative risk matrix approach, following the method described by the World Health Organization and the Brazilian Ministry of Health. The frequency and severity of the hazards were assessed based on information provided by the SAAE São Carlos, which is responsible for the management of the local WSS. The risks' estimation also included raw water quality from SAAE São Carlos monitoring network (true color, turbidity, pH, ammoniacal nitrogen, dissolved oxygen, and thermotolerant coliforms) and generation of land use maps between 2014 and 2021. Following water quality federal classification and guidelines of the studied water bodies, non-compliance with the maximum values established by Brazilian ordinance CONAMA nº 357/05 was evaluated. The percentages of non-compliance were higher in the 'Rio Monjolinho' watershed for all the parameters, except for pH. The results indicate that the land use differences between the basins influenced the risks to which the withdrawals were exposed. As a result of a greater proportion of urban and agricultural land cover in the 'Rio Monjolinho' watershed, the respective water withdrawal was subjected to a higher quantity of hazards with a "very high" risk rating and to greater risk ratings when there was a contrasting rating between this withdrawal and the other one (Ribeirão do Feijão). This research improved the understanding about the influence of characteristics and vulnerabilities of the watershed on the water supply, emphasizing the importance of evaluating the local characteristics in the process of elaboration of a WSP and the importance of integrating it with the watershed planning.

Keywords: Water supply; water resources management; risk management; water safety; water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama das etapas principais envolvidas na elaboração de um Plano de Segurança da Água (PSA).....	39
Figura 2 - Experiências internacionais na elaboração de PSAs.....	46
Figura 3 - Diagrama esquemático do SAA de São Carlos.	54
Figura 4 – Reservatório de acumulação e poço de sucção da captação do Espraiado.	55
Figura 5 – Localização da captação do Rio Monjolinho e dos pontos de monitoramento da qualidade da água bruta, com delimitação da bacia de contribuição da captação do Espraiado por curvas de nível a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA (BRASIL, 2008).	57
Figura 6 – Poço de sucção da captação do Ribeirão do Feijão	58
Figura 7 - A) – Canaleta de entrada da Captação do Ribeirão do Feijão (vista interna) B) Chicana para redução da velocidade da água na captação do Ribeirão do Feijão.	59
Figura 8 - Localização da captação do Ribeirão do Feijão e dos pontos de monitoramento da qualidade da água bruta, com delimitação da bacia de contribuição da captação do Feijão por curvas de nível a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA (BRASIL, 2008).	61
Figura 9 – Distribuição geográfica por continente dos artigos obtidos como resultados da revisão sistemática de literatura.....	65
Figura 10 - Distribuição dos perigos e eventos perigosos identificados na revisão sistemática de literatura para o sistema de abastecimento de água como um todo (SAA) e as respectivas etapas do tratamento às quais estão relacionados.....	77
Figura 11 - Diagrama da triagem dos perigos e eventos perigosos aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos a partir da listagem obtida através de revisão sistemática.....	79
Figura 12 – Distribuição relativa por categoria dos perigos identificados considerados aplicáveis A) ao SAA como um todo e à captação; B) apenas ao SAA como um todo; C) apenas à captação.....	92
Figura 13 – A) Presença de resíduos e carcaças de animais no ponto Monjolinho 1 B) Presença de animais próximo ao curso hídrico no ponto Monjolinho 2 C) Acúmulo de resíduos próximo ao curso hídrico no ponto Monjolinho 2 D) Acúmulo de resíduos e assentamento informal próximo ao ponto Monjolinho 3 E) Acúmulo de resíduos próximos ao Córrego Ponte de Tábua F) Excrementos animais nas margens do Córrego Ponte de Tábua.	94

Figura 14 – A) Poço de visita do sistema de esgotamento sanitário e acúmulo de resíduos próximo ao Córrego Ponte de Tábua B) Captação de água particular no Córrego São Rafael C) Ponto onde localizava-se o PV próximo ao Córrego do Belvedere.....	95
Figura 15 – A) Retirada de terra para terraplenagem próximo ao ponto Monjolinho 2 B) Assoreamento no ponto Monjolinho 3.	96
Figura 16 – A) Ponto de coleta no Córrego do Espraiado, dentro do Parque Ecológico B) Local para a realização de atividades recreativas/acampamentos próximo ao Córrego do Espraiado, no Parque Ecológico.	97
Figura 17 – A) Presença de vegetação na casa de Bombas da captação do Espraiado B) Gradeamento à entrada da Captação do Espraiado – Córrego do Espraiado C) Presença de animais no reservatório de acumulação da captação do Espraiado – (grifo nosso).	98
Figura 18 – PV dentro da área da captação do Espraiado A) antes da finalização das obras pelo SAAE B) após a finalização das obras pelo SAAE.	98
Figura 19 - A) Acúmulo de sedimentos e encobrimentos pela vegetação no Córrego dos Macacos B) Resíduos e encobrimento do manancial pela vegetação no Córrego do Pires.	99
Figura 20 - Poluição da água com resíduo não identificado no ponto de coleta para monitoramento de água bruta no Córrego do Morungaba.....	100
Figura 21 – Ponto de coleta de água bruta para monitoramento no: A) Córrego São José B) Córrego Laranja Azeda 1 C) Córrego Laranja Azeda 2.	101
Figura 22 - Sinalização de segurança no ponto: A) Córrego Laranja Azeda 2 B) Ribeirão do Feijão.....	102
Figura 23 - Gasoduto enterrado por baixo do Ribeirão do Feijão.....	102
Figura 24 - Sinalização de segurança e cercamento na Captação do Feijão.	103
Figura 25 - Presença de vegetação junto ao maquinário na Captação do Feijão....	104
Figura 26 - Uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Monjolinho para os anos de 2014 e 2021.....	106
Figura 27 - Uso e ocupação do solo na sub-bacia do Ribeirão do Feijão para os anos de 2014 e 2021.....	109
Figura 28 - Mapa ilustrativo das intersecções entre a rede hidrográfica com suas respectivas Áreas de Preservação Permanente (APP) e as áreas agrícolas e de silvicultura - Sub-bacia do Rio Monjolinho, conforme o uso e ocupação do solo no ano de 2021.	111
Figura 29 - Mapa ilustrativo das intersecções entre a rede hidrográfica com suas respectivas Áreas de Preservação Permanente (APP) e as áreas agrícolas e de silvicultura - Sub-bacia do Ribeirão do Feijão, conforme o uso e ocupação do solo no ano de 2021.....	112
Figura 30 - Comparação anual das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento	

(classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a variável cor verdadeira. São discriminados, ano a ano, os respectivos meses secos e chuvosos... 117

Figura 31 - Comparação anual das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento (classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a variável oxigênio dissolvido (OD). São discriminados, ano a ano, os respectivos meses secos e chuvosos. 119

Figura 32 – Comparação anual das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento (classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a variável turbidez. São discriminados, ano a ano, os respectivos meses secos e chuvosos..... 120

Figura 33 - Comparação anual das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento (classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a variável pH. São discriminados, ano a ano, os respectivos meses secos e chuvosos..... 121

Figura 34 - Evolução temporal dos casos de não conformidades (%) no parâmetro coliformes termotolerantes nas sub-bacia do Rio Monjolinho e Ribeirão do Feijão, entre os anos de 2014 e 2021. 124

Figura 35 - Distribuição dos anos e respectivos parâmetros em que foram verificadas não conformidades relativas ao rol completo de parâmetros contidos na Resolução CONAMA nº 357/05 para corpos hídricos classe 2, na sub-bacia do Ribeirão do Feijão. Os dados foram coletados anualmente entre os anos de 2014 e 2016 e semestralmente entre os anos de 2017 e 2021..... 125

Figura 36 - Distribuição dos anos e respectivos parâmetros em que foram verificadas não conformidades relativas ao rol completo de parâmetros contidos na Resolução CONAMA nº 357/05 para corpos hídricos classe 2, na sub-bacia do Rio Monjolinho. Os dados foram coletados anualmente entre os anos de 2014 e 2016 e semestralmente entre os anos de 2017 e 2021..... 126

Figura 37 – Distribuição dos perigos nas classes de risco (baixo, médio, alto e muito alto) para as captações do SAAE São Carlos: a) Sub-bacia do Rio Monjolinho; b) Sub-bacia do Ribeirão do Feijão. 150

Figura 38 – Categorização dos perigos e eventos perigosos classificados como de alto e muito alto risco para as captações do Espreado e do Feijão. 151

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pontos de coleta para a análise da qualidade da água bruta pelo SAAE.	63
Quadro 2 - Limites estabelecidos por parâmetro pela resolução CONAMA nº 357/05 para corpos hídricos de classe 2.....	70
Quadro 3 – Exemplo de matriz semiquantitativa de priorização de riscos.....	73
Quadro 4 - Critérios adotados para avaliação da frequência a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo. (continua).....	74
Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continua).....	80
Quadro 6 - Avaliação da frequência dos perigos conforme o uso e ocupação do solo no ano de 2021 para as sub-bacias do Rio Monjolinho e do Ribeirão do Feijão. (continua)	113
Quadro 7 - Compilação dos perigos de difícil mensuração, com indicação de referências consultadas e conclusão quanto a sua mensuração na análise de risco da presente pesquisa, considerando o contexto das captações superficiais do SAA de São Carlos.	135
Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espraiado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto).....	137
Quadro 9 - Perigos ou eventos perigosos que apresentaram classificações discrepantes do risco (baixo, médio, alto ou muito alto risco) para a captação do Espraiado e a captação do Feijão.....	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de uso e ocupação do solo para a sub-bacia do Rio Monjolinho (bacia total) e para a área de contribuição da captação (bacia de captação), nos anos de 2014 e 2021, com indicação das diferenças relativas (%) entre a ocupação nos dois períodos para cada classe..... 107

Tabela 2 - Classes de uso e ocupação do solo para a sub-bacia do Ribeirão do Feijão (bacia total) e para a área de contribuição da captação (bacia de captação), nos anos de 2014 e 2021, com indicação das diferenças relativas (%) entre a ocupação nos dois períodos para cada classe..... 110

Tabela 3 – Distribuição global das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento (classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Os dados foram coletados mensalmente entre os anos de 2014 e 2021. 115

Tabela 4 - Distribuição das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão para a variável coliformes termotolerantes, a partir da metodologia definida na Resolução CONAMA nº 357/2005, com valores definidos para corpos hídricos classe 2. Os dados foram coletados mensalmente entre os anos de 2014 e 2021..... 123

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	24
2 OBJETIVOS	27
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	28
3.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	28
3.2 CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO	30
3.2.1 Fatores intervenientes na captação superficial e subterrânea.....	32
3.2.2 Arcabouço legal de conservação e recuperação das áreas de proteção dos mananciais	33
3.3 PLANOS DE SEGURANÇA DA ÁGUA (PSA).....	35
3.3.1 Histórico e antecedentes.....	36
3.3.2 Estrutura e conteúdo típicos.....	38
3.3.3 Principais metodologias empregadas	42
3.3.4 Experiência internacional com PSAs	44
3.3.5 Experiência brasileira com PSAs.....	48
4 MATERIAL E MÉTODOS	51
4.1 ÁREA DE ESTUDO	51
4.1.1 Captação do Espriado	55
4.1.2 Captação do Feijão	58
4.1.3 Visitas técnicas aos pontos de monitoramento da qualidade da água bruta e às captações	62
4.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DE PERIGOS E RISCOS IDENTIFICADOS NA LITERATURA.....	64
4.3 ETAPAS DE AVALIAÇÃO DAS CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS COMO SUBSÍDIO AO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA DE SÃO CARLOS (SP)	67
4.3.1 Base de dados de uso e ocupação do solo	67
4.3.2 Base de dados de qualidade da água.....	68
4.3.3 Identificação de perigos potenciais e avaliação dos riscos	71
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	77

5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS E RISCOS	77
5.2 IDENTIFICAÇÃO <i>IN LOCO</i> DOS PERIGOS E EVENTOS PERIGOSOS	92
5.2.1 Visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	93
5.2.2 Visita à captação do Espraiado	97
5.2.3 Visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	99
5.2.4 Visita à captação do Ribeirão do Feijão	103
5.3 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	104
5.4 ANÁLISE DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA	115
5.5 PERIGOS DE DIFÍCIL MENSURAÇÃO	127
5.5.1 Conflitos de uso da terra	128
5.5.2 Baixa qualidade dos dados que alimentam os sistemas de informação	129
5.5.3 Mudanças nos padrões climáticos (ex. padrões de precipitação e evaporação)	130
5.5.4 Alteração no padrão de infecções (aumento da exposição a patógenos devido à migração de cidadãos, pandemias e epidemias)	130
5.5.5 Gestão inadequada dos recursos hídricos pelos órgãos competentes.....	131
5.5.6 Desmatamento em bacias afluentes, elevado grau de deterioração da vegetação ciliar e área de preservação permanente.....	132
5.5.7 Proximidade de atividades comerciais informais e/ou ilegais ao manancial	133
5.5.8 Deposição atmosférica de produtos químicos tóxicos.....	133
5.5.9 Poluição por escoamento difuso de origem urbana	134
5.5.10 Compilação dos perigos de difícil mensuração.....	135
5.6 AVALIAÇÃO DOS RISCOS	136
6 CONCLUSÃO	157
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	160
APÊNDICE A – Classes de uso e ocupação do solo e áreas identificadas para a sub- bacia do Rio Monjolinho.....	173
APÊNDICE B - Classes de uso e ocupação do solo e áreas identificadas para a sub- bacia do Ribeirão do Feijão	174
APÊNDICE C – Perigos e eventos perigosos identificados pela revisão sistemática de literatura para as diferentes etapas do SAA.....	175

APÊNDICE D - Perigos e eventos perigosos identificados na visita de campo com indicação dos respectivos mananciais	191
---	-----

1 INTRODUÇÃO

Devido ao caráter fundamental da água enquanto recurso para a sobrevivência humana, as civilizações se desenvolveram, historicamente, nas proximidades dos cursos hídricos. A água é um elemento indispensável para a humanidade e possui papel imprescindível para a promoção da saúde pública, além de se relacionar com aspectos culturais e religiosos em diversos grupos da sociedade (DETTORI *et al.*, 2022). O uso da água também é essencial para fins de geração de energia e para grande parte dos processos produtivos industriais e agrícolas, que se tornaram inerentes ao desenvolvimento da humanidade. No escopo dos serviços ecossistêmicos, os recursos hídricos geram benefícios diretos e indiretos à sociedade em quatro categorias tradicionalmente reconhecidas (COSTANZA *et al.*, 1997), quais sejam: serviços de suporte, provisão, regulação e culturais.

A urbanização e o adensamento da população ampliaram o consumo de recursos hídricos e estabeleceram uma demanda pela promoção da salubridade ambiental e pelo controle das epidemias. O crescimento das cidades tornou necessária a criação de estruturas de abastecimento de água para atender a população em toda a área urbana, mesmo nas regiões mais distantes dos mananciais. Em meados do século XIX, o abastecimento passou a ser realizado com tratamento e distribuição pública, por um sistema de abastecimento de água (SAA). A evolução desse tipo de sistema no Brasil se deu primeiramente nas capitais, como Rio de Janeiro, São Paulo, Recife, Salvador e Porto Alegre. Nesta mesma época, foram construídas redes de distribuição em algumas cidades, como São Paulo, cujo SAA passou a ser operado pela Companhia Cantareira de Águas e Esgotos em 1877 (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1973; FLORENÇANO; COELHO, 2014).

Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2017, 99,6% dos municípios brasileiros possuíam serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição. Entretanto, o percentual dos municípios que abasteciam a população com água tratada era inferior, de 94,9%. A região Sudeste foi a primeira a alcançar a universalização, atingindo 100% de cobertura na última década do século XX e manteve esse índice desde então (IBGE, 2017a).

Deve-se destacar que o cálculo destes índices usualmente considera apenas a existência da cidade formal, o que exclui a população que reside em áreas

subnormais, como as favelas (WHATELY; DINIZ, 2009). Analisando o contexto da cidade como um todo, o atendimento costuma decrescer nas áreas periféricas, em relação aos índices oficiais, observados nas áreas centrais (MELLO; COSTA, 2008). Para a universalização do serviço ser de fato atingida, também devem ser incluídos, além das áreas subnormais, o atendimento das populações isoladas, situadas em áreas de baixa densidade, de áreas rurais carentes e pessoas em situação de rua (FURIGO *et al.*, 2018).

A existência de estruturas de abastecimento não é suficiente para sustentar o equilíbrio entre a oferta e a demanda de água no município. Tampouco garante a capacidade do SAA de enfrentar situações contingenciais, como por exemplo as acarretadas por eventos climáticos extremos. É necessário o comprometimento do prestador do serviço com a segurança hídrica do sistema (SALEHI, 2022). O conceito de segurança hídrica está relacionado ao acesso a quantidades adequadas de água de qualidade para garantir o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, assegurando a proteção contra poluição e desastres e preservando os ecossistemas (UN-WATER, 2013; FIGUEIREDO, 2020).

Mesmo com o rigor na realização do tratamento, diversos fatores podem afetar a segurança hídrica ao longo do SAA. A ausência de programas regulares de manutenção e o rompimento das tubulações constituintes das adutoras de água bruta e redes de água tratada são exemplos de potenciais fontes geradoras de problemas que podem comprometer a saúde pública e acarretar perdas econômicas para o prestador. O exclusivo acompanhamento da qualidade do produto final (i.e., da água tratada) pelos prestadores se mostrou insuficiente e obsoleto, porque não contempla o monitoramento de todas as etapas integrantes do SAA (COSTA, 2010). Assim, globalmente, o controle de qualidade tem se deslocado da análise isolada em laboratório para uma abordagem mais sistêmica, que contemple a identificação, avaliação e gestão dos riscos (ROSSO; LAMIN; SILVA, 2016; LANE *et al.*, 2022). Os responsáveis pelos SAA devem não apenas atender aos padrões de potabilidade, mas também monitorar os riscos para assegurar a qualidade da água e apresentar confiabilidade junto aos consumidores (FABBRO NETO; GÓMEZ-MARTÍN, 2020; FIGUEIREDO, 2020).

Introduzido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2004, o Plano de Segurança da Água (PSA) é um instrumento de gestão que atualiza a política de

segurança hídrica para um viés preventivista, focando na identificação e análise dos riscos. Destaca-se por ser multidimensional, englobando aspectos financeiros, institucionais, socioeconômicos, políticos e técnicos. Por meio do PSA, associam-se metas e um sistema de monitoramento, objetivando prevenir ou minimizar a contaminação da água, desde o manancial até a distribuição e manuseio da água potável (FERRERO; BICHAJ; RUSCA, 2018).

A utilização do PSA permite a minimização de riscos, a prevenção de eventos perigosos e a comunicação rápida e eficiente aos usuários em caso de contaminação, suprimindo uma das lacunas do modelo mais tradicional de acompanhamento da qualidade simplesmente pelo produto final. Apesar disso, o PSA ainda é pouco conhecido e implementado no Brasil. A adesão a essa ferramenta em todo o país é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, pois pode contribuir para uma melhor eficiência e para a segurança hídrica dos SAA (VENTURA; FERREIRA, 2016; WHO, 2017).

A captação é uma das etapas dos SAA em que as características das bacias hidrográficas que abrigam os mananciais podem exercer especial influência sobre os possíveis perigos e eventos perigosos a que estão submetidos. Assim, esta pesquisa buscou contribuir para a difusão deste instrumento de gestão, utilizando como objeto de estudo um SAA de um município brasileiro de médio porte. Ao se compararem potenciais perigos e eventos perigosos em duas sub-bacias hidrográficas que abrigam os mananciais de captação de água bruta e possuem características (i.e., vulnerabilidades e aptidões) contrastantes, a principal contribuição da presente pesquisa foi investigar a influência dessas características sobre os riscos aos quais o SAA do município de São Carlos (SP) está exposto, de modo que as conclusões possam ser extrapoladas para outros municípios brasileiros que possuam similaridades com o objeto de estudo.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal dessa pesquisa foi analisar os riscos identificados em duas sub-bacias de um município de porte médio no estado de São Paulo, relacionados à etapa de captação de águas superficiais para abastecimento público, a partir da contribuição das diferentes formas de uso e ocupação e do solo e das vulnerabilidades e aptidões em cada sub-bacia e nos respectivos componentes do sistema de captação.

Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão sistemática de literatura dos perigos e eventos perigosos tipicamente associados aos sistemas de abastecimento de água, com foco na etapa de captação;
- Identificar os perigos envolvidos na captação superficial de água nos dois mananciais utilizados para o abastecimento público no município de São Carlos (SP);
- Avaliar os riscos associados aos perigos identificados, estimando sua frequência e severidade.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O fornecimento de água potável para o abastecimento propicia melhorias da saúde e da qualidade de vida da população. Também está estritamente relacionado ao desenvolvimento econômico da comunidade, pois investimentos em SAA reduzem os custos com intervenções médicas, aumentando a capacidade de trabalho e a produtividade. A partir do entendimento da relação intrínseca entre a água e o desenvolvimento da sociedade, adotou-se a política de implantação de SAA, que integram a captação de água bruta no manancial, o tratamento e a distribuição da água potável para a população (TSUTIYA, 2006; FLORENÇANO; COELHO, 2014). Dentro do contexto urbano, a evolução de sistemas como o de transporte, de eletricidade, de abastecimento de água e de esgoto sanitário estão diretamente ligados ao crescimento das grandes aglomerações. A existência destes sistemas permite circulação e agilidade em todos os tipos de fluxo que a existência de grandes cidades e metrópoles exigem, como o fluxo de pessoas e mercadorias (DO RIO, 2022).

O principal objetivo de um SAA é o provimento, a diferentes usuários, de água em quantidade e qualidade adequadas para o uso e atendendo às recomendações normativas (e.g., quanto à pressão na rede). Para isso, são utilizadas estruturas complementares que visam à eficiência, constância e segurança do fornecimento. Portanto, ao conceber um SAA, não devem ser admitidas soluções padronizadas, mas sim uma solução adaptada para a realidade de cada local (HELLER; PÁDUA, 2010). São contemplados, usualmente, como componentes do sistema: manancial, estrutura de captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água (ETA), reservatório e rede de distribuição (TSUTIYA, 2006).

A etapa de captação tem como objetivo retirar a água do manancial, em sua forma bruta, e conduzi-la até a ETA. O manancial pode ser superficial, subterrâneo ou uma combinação de ambos para atender à vazão requerida pelo sistema. De acordo com as características do manancial, devem ser empregadas diferentes tecnologias para a captação da água. Em seguida, a vazão captada é bombeada, na estação elevatória, e transportada por uma adutora, que interliga a tomada de água e o tratamento (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1998).

Na ETA, a água é submetida a operações unitárias nas quais diversos processos, usualmente físico-químicos, garantem o atendimento aos padrões preconizados pela legislação para que seja considerada potável. O monitoramento da água tratada é imprescindível para verificar a adequabilidade do tratamento às possíveis variações na qualidade da água bruta, inclusive em função da sazonalidade (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2013). Após o tratamento, a água é reservada e distribuída para a população por redes que possuem ligação com as residências dos usuários. Os reservatórios têm a finalidade de regularizar a vazão; garantir segurança no abastecimento, mesmo durante intermitências na produção de água tratada; regularizar a pressão; e manter uma reserva de água para suprir demandas de combate a incêndios. As redes de distribuição, por sua vez, são a parte do SAA que está mais próxima do usuário e compõem, tipicamente, uma parcela expressiva dos custos do sistema (TSUTIYA, 2006).

A partir da última década do século XX, observou-se uma modificação na concepção do saneamento, agregando à abordagem de promoção da saúde uma perspectiva ambiental, direcionada a incluir a conservação dos meios físico e biótico. No Brasil, as normativas que regulam e estabelecem as diretrizes dos usos múltiplos da água possuem foco tanto na saúde pública quanto na proteção das bacias hidrográficas (SOARES; BERNARDES; CORDEIRO NETTO, 2002; SOUZA; FREITAS, 2010). Dentro do arcabouço legal brasileiro, há leis e normas que tratam sobre a qualidade da água dos mananciais, como a Resolução CONAMA nº 357/2005. Outras definem critérios para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, como a Resolução CONAMA nº 430/2011. Há ainda aquelas que tratam da definição dos parâmetros de potabilidade da água a ser distribuída para a população, como a Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011; BRASIL, 2021).

A regulamentação do serviço de abastecimento de água é atualmente estabelecida por meio da Lei nº 14.026/2020. Quanto ao abastecimento das áreas urbanas, a referida legislação define que este deve ser realizado por um SAA que integre desde a captação até as ligações prediais (BRASIL, 2020a). Nas áreas rurais, devem ser garantidos os meios adequados para o atendimento da população, pela adoção de soluções compatíveis com as suas características econômicas e sociais (JORSARAEI; GOUGOL; VAN LIE, 2014). Assim, os prestadores do serviço podem utilizar métodos alternativos e descentralizados, desde que a situação da área se

enquadre dentre as previstas pelas entidades reguladoras para tal, considerando a viabilidade técnica e econômica do sistema (BRASIL, 2020a).

Características espaciais, geográficas e socioeconômicas das áreas rurais dificultam a utilização de um SAA nos moldes convencionais (JORSARAEI; GOUGOL; VAN LIE, 2014), especialmente devido aos elevados custos e à demanda por mão de obra especializada para a sua implantação, operação e manutenção. Esta necessidade de adequações e adaptações compreende uma das razões pelas quais a porcentagem de cobertura é muitas vezes contrastante ao se compararem as áreas rural e urbana (ZAHARIA, 2017; MOREIRA; DIAS, 2020).

Conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) no Brasil, no ano de 2019, a porcentagem geral de domicílios ligados a redes de abastecimento de água em território nacional era de 85%. Contudo, este percentual refere-se apenas aos domicílios localizados na área urbana. Quando considerados somente os domicílios localizados nas áreas rurais, a porcentagem tende a ser bem menor. Em 2014, enquanto a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios indicava a porcentagem geral de 84% dos domicílios ligados a redes, na zona rural a porcentagem era de apenas 33%. Destaca-se que nos 67% restantes dos domicílios rurais, isto é, na parcela majoritária, o abastecimento se dava a partir da captação da água pela própria população, geralmente sem nenhum tratamento, seja em poços, diretamente de cursos de água, ou de outras fontes alternativas, em sua maioria inadequadas para consumo humano (IBGE, 2014).

3.2 CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

Para a concepção de um SAA, a primeira escolha diz respeito ao manancial utilizado para o abastecimento. A qualidade da água do manancial impactará diretamente na ETA a ser construída, para que a potabilidade seja garantida. Além disso, é necessário que o manancial seja capaz de suprir a demanda da população por um período considerado viável do ponto de vista técnico e econômico (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1998). Após a escolha do manancial, seja ele superficial ou subterrâneo, são definidas as tecnologias e estruturas a serem utilizadas na captação e no tratamento da água.

No ano de 2021, segundo dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entre todas as sedes urbanas dos municípios brasileiros, 40% eram

abastecidas exclusivamente por águas subterrâneas, 43% exclusivamente por mananciais superficiais e 17% por ambos os tipos (ANA, 2021). No estado de São Paulo, em 2015, 52% dos municípios eram atendidos por mananciais subterrâneos, 29% por mananciais superficiais e 19% por ambos (ANA, 2021). Estima-se que, em 2010, cerca de 52,6 m³/s de água eram extraídos de aquíferos para o abastecimento público em todo o Brasil, o que seria equivalente ao volume necessário para abastecer 2/3 da região metropolitana de São Paulo (ANA, 2010). Os volumes de água subterrânea captada variam entre os estados, sendo São Paulo o maior consumidor, extraindo aproximadamente 15,35 m³/s (ANA, 2010; HIRATA *et al.*, 2019).

As águas subterrâneas se encontram sob a superfície terrestre, nos poros das rochas e dos sedimentos, constituindo assim os aquíferos (HIRATA *et al.*, 2019). Sua extração é usualmente executada por meio de poços, tubulares ou escavados (TSUTIYA, 2006). Pela facilidade de alocação dos poços próximos ao ponto de reservação, diminuem-se os custos com a execução de adutoras. Além disso, a melhor qualidade da água captada normalmente demanda um tratamento mais simplificado, composto apenas pela etapa de desinfecção, como indicado pelo capítulo V da Portaria GM/MS nº 888/2021 (MAYS, 2010; BRASIL, 2021).

Associa-se a melhor qualidade das águas subterrâneas ao seu deslocamento lento no interior dos aquíferos, que permite uma interação água-rocha. Há também, frequentemente, uma maior proteção das águas pelas próprias características morfológicas dos aquíferos (TSUTIYA, 2006; HIRATA *et al.*, 2019). Esses fatores garantem maior estabilidade e melhor qualidade microbiológica às águas subterrâneas, embora a interferência antrópica possa causar a contaminação e o aumento da concentração de poluentes, como o nitrato (DARONCO, 2021). A incorporação de elementos químicos também pode ocorrer devido ao intemperismo e à dissolução de minerais naturalmente presentes nas rochas da região, como ferro e manganês (REBOUÇAS, 2006; MARTINS; CASTRO, 2014; MOURA *et al.*, 2015; QUAGGIO *et al.*, 2018).

As águas superficiais constituem a fonte mais importante para o abastecimento humano no Brasil (VILLAR, 2016). A captação superficial é um conjunto de estruturas e dispositivos, construídos junto ou dentro de um manancial de superfície, como córregos, rios, lagos, riachos, lagoas e reservatórios artificiais, para retirada desta água visando o abastecimento (TSUTIYA, 2006). As características do manancial e

de sua cota em relação à ETA influenciam as estruturas utilizadas em cada SAA para realizar a captação da água, sendo comum o uso de bombas e estações elevatórias (TSUTIYA, 2006; MAYS, 2010; BERTOLO *et al.*, 2015).

A garantia de suprimento e funcionamento contínuo durante todo o ano é um dos principais requisitos para a escolha de um ponto para a captação superficial. Também devem ser consideradas a facilidade de acesso para operação e manutenção e a localização dotada de maior proteção sanitária contra poluição, a fim de garantir a melhor qualidade da água bruta (HELLER; PÁDUA, 2010). Como as águas superficiais estão frequentemente mais expostas à contaminação do que as águas subterrâneas, a atenção a esse ponto deve ser ainda maior em áreas em que a ocupação humana se deu de forma acelerada, sem a instalação de estruturas de saneamento básico, sobretudo de esgotamento sanitário (TSUTIYA, 2006).

3.2.1 Fatores intervenientes na captação superficial e subterrânea

Diversos fatores, internos ou externos, podem intervir na captação em um corpo hídrico. Muitos se relacionam com as características naturais da bacia hidrográfica na qual o manancial está inserido. A interação entre os fatores climáticos, a hidrologia e a geologia condicionam as formas de recarga e circulação do aquífero, influenciando a qualidade da água e o tipo de tecnologia necessária para a captação (HELLER; PÁDUA, 2010; TUNDISI *et al.*, 2014). A vegetação ripária atua na manutenção da qualidade de água, na recarga dos aquíferos, na reposição da umidade para a atmosfera por meio da evapotranspiração e na regulação do clima (FONSECA; GONTIJO, 2021). A retirada desta vegetação tem como consequência a degradação dos ambientes aquáticos, com reflexos diretos na perda de serviços ecossistêmicos. Isto porque a manutenção da biodiversidade é fundamental para a resiliência dos ecossistemas e sua capacidade de fornecer estes serviços (HELLER; PÁDUA, 2010; CAMPOS; RAMIRES; PAULA, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2022).

A proteção dos mananciais e o uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas são tão significativos, sob o aspecto de controle da qualidade da água, quanto a eficiência operacional das ETA. Isto porque a utilização do solo sem critérios de ocupação e zoneamento preestabelecidos favorece a degradação da qualidade das águas, o que acaba onerando o tratamento e representando riscos à saúde pública (MACHADO; DUPAS, 2013; ROSA; OLIVEIRA; SAAD, 2014). A produção

agrícola próxima a nascentes e margens de rios, por exemplo, pode gerar a poluição das águas superficiais por fontes difusas (MERTEN; MINELLA, 2002). O aumento da impermeabilização, a perda da cobertura de vegetação nativa e a maior susceptibilidade à erosão do solo promovem, em conjunto, o maior carreamento de materiais para o leito dos cursos d'água e o incremento da concentração de sólidos, nutrientes e outros poluentes na água (CAMPOS; RAMIRES; PAULA, 2011; GONÇALVES *et al.*, 2005). A expansão sem controle das atividades econômicas e da população contribuem também para as mudanças climáticas, alterações no escoamento superficial e redução da disponibilidade da água.

Assim, os diversos usos do solo e do manancial podem modificar os ciclos biogeoquímicos e hidrológico em diferentes escalas espaciais e temporais (SANTOS; ROCHA; PORTELLA, 2022; ROSA; OLIVEIRA; SAAD, 2014; CAMPOS; RAMIRES; PAULA, 2011; GONÇALVES *et al.*, 2005). A gestão e o monitoramento do uso e ocupação do solo são indispensáveis para a prevenção dos impactos à bacia hidrográfica e a manutenção dos mananciais (SANTOS; SANTOS; SANTOS, 2021; SANTOS; ROCHA; PORTELLA, 2022).

3.2.2 Arcabouço legal de conservação e recuperação das áreas de proteção dos mananciais

O estabelecimento de políticas e normativas para a conservação e restauração dos mananciais e das zonas ripárias surge da necessidade de ampliar a proteção de cursos d'água estratégicos e a manutenção dos serviços ecossistêmicos relacionados a eles (OLIVEIRA-ANDREOLI *et al.*, 2019). Planejar a proteção a esses recursos em escalas menores, sobretudo em nível municipal, torna mais efetiva a formulação de políticas que integrem a conservação com o desenvolvimento socioeconômico a nível local. Para isso, podem ser adotados mecanismos legais mais restritivos do que as Áreas de Preservação Permanente (APP), instituídas em âmbito federal pelo Código Florestal, que possibilitem o uso e ocupação controlados de faixas de solo ao redor dos mananciais (GROTTO *et al.*, 2021).

Em 1997, foi publicado o relatório “Mapeamento de Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo”. De autoria do Instituto Geológico, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica, o relatório identificou as áreas críticas que

necessitavam ser abrangidas por políticas de controle da ocupação do solo e exploração da água subterrânea (DIAS *et al.*, 2004). No mesmo ano, foi promulgada a Lei Estadual nº 9.866/1997, que dispôs sobre as diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo, com a da definição de Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais que são de interesse regional para abastecimento público (SÃO PAULO, 1997; SÃO PAULO, 2021). Atualmente, há cinco áreas como essa no estado, denominadas Guarapiranga, Billings, Alto Juquery, Alto Tietê Cabeceiras e Alto Cotia (SÃO PAULO, 2021).

No município de São Carlos (SP), onde se localiza a área de estudo da presente pesquisa, foram estabelecidas as Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APREM), criadas por meio da Lei Municipal nº 13.944/06 (SÃO CARLOS, 2006). As APREM são definidas pela referida lei como áreas de relevante interesse ambiental para o município, cujo objetivo é a conservação e o abastecimento de água com qualidade. No escopo da legislação, são definidas quais atividades necessitam de licenciamento ambiental para sua realização no interior das APREM. No município, as APREM englobam os dois pontos de captação de água para abastecimento, situados nas bacias hidrográficas do Rio Monjolinho e do Ribeirão Feijão (SÃO CARLOS, 2006).

As diretrizes apresentadas nestas leis devem estar alinhadas com o plano diretor do município, para ampliar sua efetividade. No município de São Carlos, o plano diretor estabelecido pela Lei nº 18.053 de 19 de dezembro de 2016 define, como um de seus objetivos estratégicos (art. 3º), a implementação de uma política de uso e ocupação do solo que garanta o acesso à terra para as funções da cidade ao mesmo tempo em que assegura a proteção do patrimônio ambiental (SÃO CARLOS, 2016).

Outro objetivo descrito, ainda no artigo 3º, é a proteção das áreas de preservação permanente, unidades de conservação, áreas de proteção dos mananciais e da biodiversidade. Para tanto, destaca-se a definição de funções do ordenamento territorial, constantes no artigo 4º da referida lei, que tratam da proteção aos mananciais. São elas: a proteção e recuperação das áreas de mananciais responsáveis pelo abastecimento de água no município; e a promoção de programas de pagamento por serviços ambientais para a recuperação e conservação das

nascentes e cursos d'água no município, com o objetivo de aumentar a produção de água (SÃO CARLOS, 2016).

Em consonância com o disposto, o Plano Diretor definiu a Zona 5 – Proteção e Ocupação Controlada, que corresponde às regiões de proteção das áreas dos mananciais Rio Monjolinho, Córrego do Espriado e Ribeirão do Feijão, que se encontram na zona urbana do município de São Carlos. Nos artigos 31 ao 38, o Plano Diretor descreve as diretrizes para controlar a ocupação desta zona, a fim de evitar os impactos ambientais (SÃO CARLOS, 2016).

Não somente o alinhamento entre a legislação é requerido, mas também um esforço de fiscalização, com responsabilidade compartilhada pela gestão municipal e os órgãos ambientais que compõem o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). Além de políticas criadas pelo poder público e normativas estabelecidas pelos órgãos ambientais competentes, outros instrumentos podem ser empregados visando à proteção dos mananciais e da água de abastecimento, inclusive pelo próprio prestador de serviço, como os Planos de Segurança da Água (GROTTO *et al.*, 2021).

3.3 PLANOS DE SEGURANÇA DA ÁGUA (PSA)

Em toda a estrutura de um SAA, há diversos perigos com potencial para afetar a potabilidade da água. Pode ocorrer poluição da água na fonte, ao longo do tratamento, no trajeto entre a ETA e os consumidores e, ainda, nas próprias unidades consumidoras. Fatores como a existência de conexões ilegais na rede e a falta de manutenção nas estruturas de distribuição são fontes potenciais de ameaças à saúde pública e de perdas econômicas para o prestador do serviço (CHANG; CHONG; BARTRAM, 2013; FABBRO NETO; GÓMEZ-MARTÍN, 2020). A garantia de segurança no abastecimento exige um controle efetivo dos riscos de contaminação, com a implantação de mecanismos de acompanhamento e monitoramento (GUNNARSDÓTTIR; GISSURARSON, 2008; COSTA, 2010).

Tradicionalmente, os prestadores de serviço adotam uma abordagem corretiva, que não é a forma mais eficaz de garantir a segurança do abastecimento de água, visto que se concentra principalmente em assegurar que a água atenda aos padrões de potabilidade na saída da ETA e no ponto final de distribuição (COSTA, 2010). Ao contrário deste clássico monitoramento de conformidade de “fim-de-linha”, na abordagem preventiva, os riscos são identificados, avaliados e geridos de forma

prévia. Neste modelo, são atendidos os níveis de qualidade da água estabelecidos pelas normativas e ampliados os níveis de confiança dos consumidores (DETTORI *et al.*, 2022). Os PSAs podem ser úteis em uma abordagem de gestão de risco, pois abrangem todas as etapas do abastecimento de água, integrando a bacia hidrográfica, os sistemas de tratamento e as redes de distribuição (VENTURA; FERREIRA, 2016; FERRERO; BICHAJ; RUSCA, 2018). Com a sua implantação, há um aprimoramento do gerenciamento e da rastreabilidade da água, além de favorecer a aplicação de boas práticas de operação dos sistemas (WHO, 2004; CHANG; CHONG; BARTRAM, 2013; WHO, 2017; CORRÊA; VENTURA, 2020).

3.3.1 Histórico e antecedentes

Os processos de gestão utilizando instrumentos de avaliação de riscos surgiram na década de 1970, nos Estados Unidos. Concentravam-se, majoritariamente, nos efeitos da contaminação à saúde humana. Apenas em 1992 foi utilizado pela primeira vez o termo “água segura”, quando o Centro de Controle e Prevenção de Doenças e a Organização Pan-Americana de Saúde instituíram um conjunto de diretrizes e procedimentos para a diminuição da cólera, durante uma epidemia da doença (VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019). Na década seguinte, a OMS definiu como água segura toda água que não represente risco à saúde humana, sendo aceitáveis variações na qualidade decorrentes das condições naturais de cada ecossistema e da legislação aplicável aos diferentes países. Não foi definido qual o risco tolerável, nem foram indicadas metas para a redução, ficando cada país responsável por estabelecê-los (WHO, 2004).

Em 2003, ocorreu em Berlim a conferência “Estratégias de Gestão de Riscos em Água para Consumo Humano” organizada pela OMS, em que se discutiram ferramentas operacionais para a gestão de riscos em SAA, desenvolvendo o conceito de Plano de Segurança da Água para Consumo Humano. No ano seguinte, a OMS formalizou o conceito de PSA na terceira edição do *Guidelines for Drinking-water Quality*, indicando que seu uso seria o meio mais efetivo de garantir de forma consistente a segurança do abastecimento de água potável (CHANG; CHONG; BARTRAM, 2013). O guia defendia a aplicação de um enfoque completo à avaliação e gestão de riscos nos SAA, desde a origem até o consumidor, para aumentar a confiança na pureza da água (WHO, 2004). A OMS assumiu um papel ativo nesse

processo, fornecendo orientações para a elaboração dos PSAs aos agentes envolvidos (BARTRAM, 2013; VENTURA; FERREIRA, 2016).

Em 2009, foi elaborado por Bartram *et al.* (2009), para a OMS, o guia intitulado “*Water Safety Plan Manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*”. A publicação deste material teve como objetivo fornecer orientações, em forma de etapas práticas, que facilitassem o desenvolvimento do PSA, com foco em SAA administrados por concessionárias de água (WHO, 2009).

No ano de 2010, o direito humano essencial ao saneamento e à água potável segura e limpa foi reconhecido pela Assembleia Geral das Nações Unidas. A implementação do PSA vai ao encontro deste direito, pois acelera o processo de tomada de decisão no caso de incidentes, melhorando a segurança da água (GUNNARSDÓTTIR *et al.*, 2020). Ainda em 2010, a OMS e a Associação Internacional da Água (IWA) publicaram um guia intitulado “*Think big, Start Small, Scale up. A Road map to Support Country - Level Implementation of Water Safety Plans*”, com o intuito de apoiar os países na implementação do PSA. O documento fornece informações e a descrição de todas as etapas para que governos e entidades reguladoras desenvolvam novas políticas e regulamentos de qualidade da água baseados na prevenção dos riscos (FIGUEIREDO, 2020). Em 2013, o Programa para a Água da Organização das Nações Unidas (UNWATER) conceituou segurança hídrica, incluindo na definição a garantia do acesso a quantidades adequadas de água de qualidade e a proteção contra poluição e desastres relacionados à água (FIGUEIREDO, 2020; SCHMIEGE *et al.*, 2020).

No Brasil, a elaboração do PSA foi normatizada em 2011 pela Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde. Em seu artigo IV, a Portaria atribuía ao responsável pelo sistema a competência de manter uma avaliação sistemática do SAA, indicando que quanto à qualidade da água distribuída, deveriam ser seguidos os princípios dos PSAs (BRASIL, 2011). Em 2014, foi promulgada a Portaria Funasa nº 190/14, que estabeleceu as diretrizes e forneceu apoio técnico para implantação do PSA nos municípios. De forma complementar à normativa, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) forneceu no mesmo ano um modelo metodológico para os prestadores de serviços de abastecimento de água (BRASIL, 2014). Atualmente, a Portaria GM/MS nº 888/2021 define em seu artigo 49 que a Autoridade de Saúde Pública poderá exigir dos responsáveis pelo SAA a elaboração e implementação do PSA, para fins de

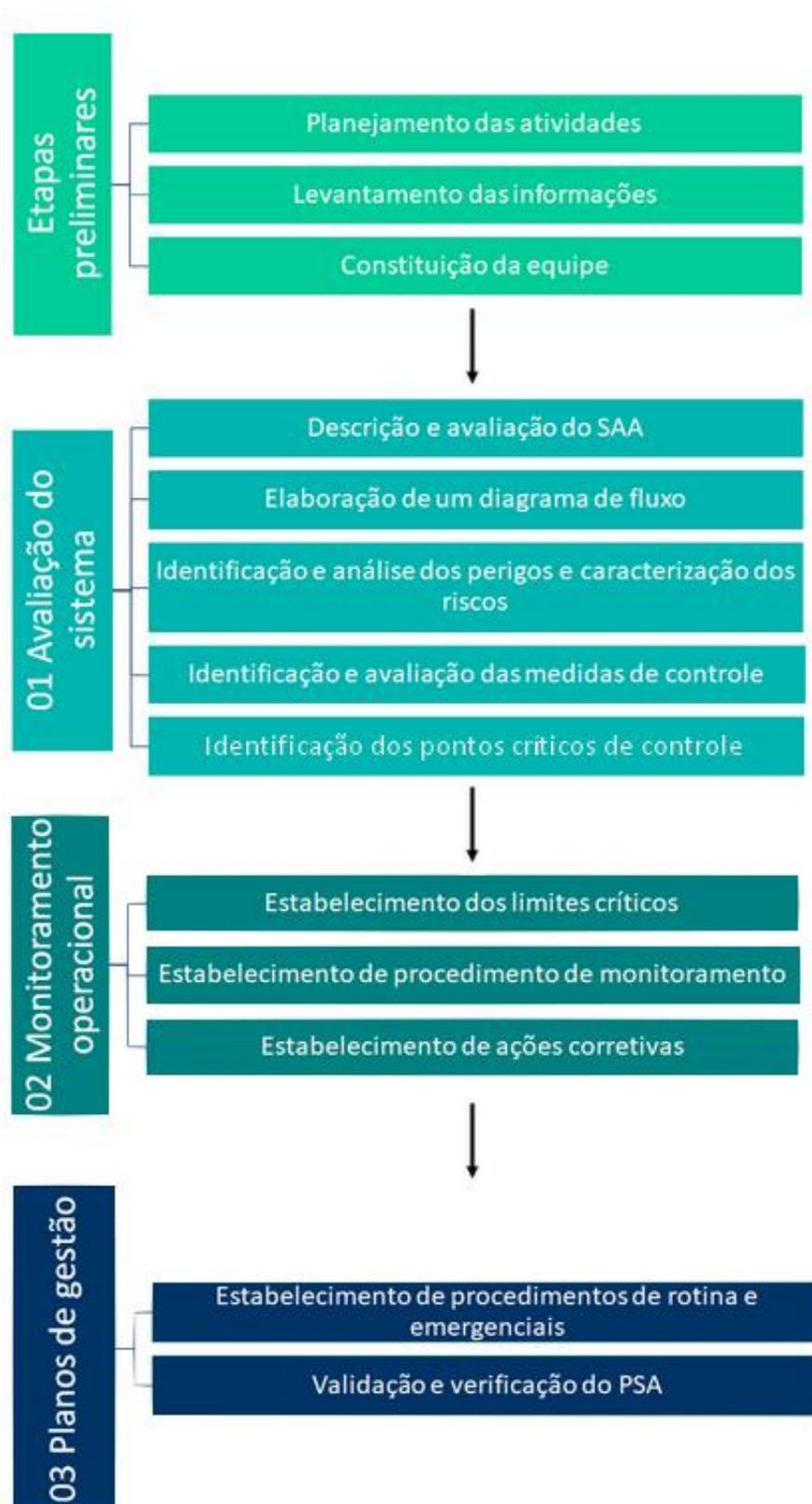
gestão preventiva de risco à saúde. Indica, ainda, que para a elaboração deverão ser seguidas as diretrizes da OMS e do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

3.3.2 Estrutura e conteúdo típicos

A complexidade de um documento como o PSA pode variar em função da situação do SAA, visto que seu conteúdo deve contemplar todas as informações relevantes sobre o sistema, desde a fonte, o tratamento, a rede de distribuição e o consumidor (ROSSO; LAMIN; SILVA, 2016). De forma prévia à elaboração, é necessário executar algumas etapas preliminares, como o planejamento de atividades, o levantamento de informações e a constituição da equipe técnica que será responsável pela elaboração e implantação do PSA (WHO, 2004; BRASIL, 2012). A qualidade do produto final está diretamente relacionada com a execução satisfatória destas etapas, sobretudo a escolha de uma equipe comprometida e constituída por representantes dos mais diversos processos dentro da organização (REID *et al.*, 2004; COSTA, 2010; VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019).

Embora não exista um modelo a ser seguido para a sua execução, um PSA possui três componentes fundamentais, apresentados pelo diagrama da Figura 1. O primeiro deles é a avaliação de todo o SAA para determinar quais os potenciais perigos ao sistema. O segundo se constitui de dois aspectos complementares: a identificação de medidas de controle, visando à redução ou eliminação dos perigos identificados anteriormente, e o monitoramento operacional, objetivando garantir o funcionamento eficiente das barreiras adotadas. Por fim, o terceiro corresponde ao desenvolvimento de planos de gestão, em que devem ser descritas as ações a serem tomadas, tanto para as condições normais de operação, quanto no caso da ocorrência de incidentes (WHO, 2004).

Figura 1 - Diagrama das etapas principais envolvidas na elaboração de um Plano de Segurança da Água (PSA).



Fonte: Adaptado de BRASIL (2012).

Para realizar a avaliação do sistema, o primeiro passo é a descrição do SAA e a elaboração de um diagrama de fluxo por meio de dados primários e secundários. A descrição deve compreender a bacia hidrográfica do manancial de captação, as etapas do tratamento de água e o sistema de distribuição completo. Essa descrição detalhada é que possibilitará, em etapa subsequente, a identificação precisa de todos os perigos e pontos de controle relacionados (COSTA, 2010). Ferramentas diversas podem ser empregadas para a obtenção de um diagnóstico ambiental mais próximo da realidade. A escolha do conjunto de ferramentas a ser empregado impacta diretamente nos resultados obtidos, podendo favorecer a integração entre as áreas do conhecimento e possibilitar uma abrangência interdisciplinar (ACUÑA-ALONSO *et al.*, 2021).

Como a qualidade da água dos mananciais pode variar com o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica (VIEIRA; MORAIS, 2005) e o grau de controle sobre as fontes de poluição (PINTO, 2020), é comum avaliar os diferentes usos do solo para analisar a dinâmica socioambiental na bacia (CARVALHO NETO; RAMOS FILHO, 2021) utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (RODRIGUES *et al.*, 2022). O mapeamento por imagens de satélite auxilia na compreensão das alterações antrópicas e naturais na paisagem (CARVALHO NETO; RAMOS FILHO, 2021), permite adotar uma frequência elevada de atualização de dados e propicia maior velocidade no processamento dos dados obtidos. Essas características possibilitam que a gestão, o planejamento e a consequente tomada de decisão sejam feitos com maior agilidade (NASCIMENTO; FERNANDES, 2016). Assim, podem-se utilizar SIG para sistematizar as informações em mapas e fluxogramas do sistema (BRASIL, 2012; VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019).

No passo seguinte na elaboração de um PSA são identificados e analisados os perigos potenciais e caracterizados os riscos. No contexto do PSA, um perigo é um agente físico, químico ou biológico que pode causar danos diretos e indiretos à saúde pública. Os perigos podem ser naturais ou induzidos pela ação humana. Logo, um evento perigoso é um incidente que pode acarretar um perigo (DAVISON *et al.*, 2005). O conceito de risco associa a probabilidade de os perigos ocasionarem danos, envolvendo a magnitude destes. Diferente dos perigos, os riscos podem ser quantificados e expressos em probabilidades (VENTURA; VAZ FILHO;

NASCIMENTO, 2019). A presença de organismos patogênicos na água de abastecimento é considerada um perigo, por exemplo. O risco associado se dá pelo fornecimento da água contaminada para a população e os respectivos agravos à saúde pública que podem ser gerados. Uma vez identificados os perigos, devem ser feitas a análise e a priorização em função do seu grau de risco, considerando a severidade e a probabilidade da ocorrência. Para isso, podem ser adotadas técnicas qualitativas ou quantitativas. Os perigos considerados significativos devem ser controlados ou mitigados (BRASIL, 2012; VENTURA; FERREIRA, 2016). É nesta etapa que se encontra inserido o desenvolvimento da presente pesquisa.

O encerramento da avaliação do sistema ocorre com os passos de identificação e avaliação de medidas de controle e de identificação dos pontos críticos de controle. As medidas de controle são operações aplicadas para evitar que os perigos aconteçam. Devem possuir limites definidos para a sua tolerância operacional e poder ser monitoradas por meio de indicadores (WHO, 2004). Cada perigo identificado deverá ser associado a uma medida de controle, que possua capacidade de prevenir, eliminar ou reduzir o risco a um nível aceitável (DAVISON *et al.*, 2005). O ideal é que seja adotado o princípio das múltiplas barreiras de controle ao longo do processo, que consiste em criar barreiras em mais de uma etapa do sistema para um mesmo perigo. De forma inicial, deve-se verificar quais as medidas já estão implementadas no SAA e realizar uma avaliação de sua eficácia. Após esta verificação, podem ser estabelecidas novas medidas ou ações de melhoria para as medidas pré-existentes (BRASIL, 2012). A avaliação das medidas permitirá à equipe identificar os Pontos Críticos de Controle (PCC), aqueles em que deve ser realizado o monitoramento contínuo, com o estabelecimento de limites críticos e medidas de controle para prevenir, eliminar ou reduzir o risco a um nível tolerável. No caso de variações nos parâmetros de acompanhamento dos PCC, são exercidas ações de intervenção, que também deverão estar previstas no PSA (WHO, 2004; DAVISON *et al.*, 2005; BRASIL, 2012).

A segunda etapa, de monitoramento operacional, visa ao controle de riscos e ao atendimento das metas estabelecidas, dividindo-se em três passos (VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019). Para cada perigo priorizado, avalia-se a necessidade de se associarem programas de avaliação, verificando se estão sendo atendidos os limites críticos ou se as medidas se mantêm eficazes. O primeiro passo

executado é o estabelecimento de limites críticos, com parâmetros que reflitam a eficácia de cada medida de controle e sejam suscetíveis de medição imediata, como o cloro residual na água tratada, por exemplo. O segundo passo é o estabelecimento de procedimentos de monitoramento, para acompanhar os parâmetros relacionados a esses limites. O terceiro passo visa ao controle no caso da ocorrência de incidente, isto é, quando um limite crítico é excedido e a água pode se tornar insegura para o consumo. Nesse passo, são estabelecidas as ações corretivas necessárias pra controlar cada risco (WHO, 2011; BRASIL, 2012).

Os planos de gestão correspondem à última etapa e permitem o acompanhamento contínuo do PSA (VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019). O primeiro passo desta etapa é o estabelecimento de protocolos a serem seguidos nas situações de rotina e de emergência. O conteúdo também deve abordar a comunicação de risco, como procedimentos de alerta, e os programas de suporte (BRASIL, 2012). Estes últimos podem ser de preservação de mananciais, de controle de qualidade laboratorial ou de treinamento de pessoal, por exemplo. O segundo passo desta etapa contempla a validação e verificação do PSA. A validação é necessária para assegurar que o SAA é eficaz e que as barreiras estabelecidas dão a garantia do controle dos perigos. Já a verificação indica se o PSA está sendo aplicado de forma correta e tem capacidade para atingir as metas estabelecidas (COSTA, 2010). Este passo é fundamental para subsidiar a revisão do PSA (WHO, 2011; BRASIL, 2012).

3.3.3 Principais metodologias empregadas

A escolha da metodologia a ser aplicada em um PSA deve ser adequada à dimensão e complexidade do SAA. A implementação do PSA não é um processo meramente técnico, com uma operação isolada do contexto da organização, mas sim envolto pelas características socioculturais. Deve adaptar-se à gestão e operação do sistema, caso contrário, não será inserido de forma efetiva na rotina da instituição (ROSSO; LAMIN; SILVA, 2016). A abordagem desenvolvida para organizar e sistematizar a gestão aplicada à água potável é baseada em conceitos de outras abordagens de gestão de risco, como a de barreiras múltiplas e a análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC), de comum aplicação na indústria alimentícia (WHO, 2004; REID *et al.*, 2004; OLUWASANYA; CARTER, 2017).

O processo da análise de riscos associa a probabilidade de um evento ocorrer à magnitude dos efeitos adversos causados por ele, isto é, a relação entre os riscos e os perigos (VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019). Quase todo o escopo da análise a ser efetuada para um PSA está contido no sistema de APPCC, que é uma abordagem sistemática para o controle do processo (COSTA, 2010). As etapas do APPCC incluem a identificação dos perigos; a definição dos PCC, através de uma árvore de decisão; a designação dos limites críticos; o estabelecimento de um sistema de monitoramento dos parâmetros de acompanhamento dos limites críticos; a determinação das ações corretivas necessárias; e o estabelecimento de um sistema de verificação (BRASIL, 1998; SPEXOTO; OLIVEIRA; OLIVAL, 2005; ROSSO; LAMIN; SILVA, 2016; ABNT, 2018).

Com o objetivo de ampliar o nível de segurança obtido no PSA, busca-se obedecer ao princípio das múltiplas barreiras, sobretudo na elaboração das medidas de controle. Este princípio considera a possibilidade da ocorrência de falhas nas barreiras programadas (BRASIL, 2012). Assim, quando do advento de um evento perigoso, seja pela falta de planejamento, por falhas no sistema ou pelo desconhecimento técnico, haverá outras barreiras nas etapas posteriores, que bloquearão ou reduzirão a disseminação de contaminantes e poluentes, garantindo a proteção exigida pela legislação (BRASIL, 2012; VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019).

A etapa de verificação está associada à metodologia de melhoria contínua. Trata-se de um ciclo, denominado PDCA (*plan-do-check-act*), em que uma abordagem sistemática é assumida, visando à resolução de problemas, com identificação das causas, planejamento e padronização da solução. Esta metodologia é iterativa, sempre buscando a melhoria, seja de controle de processo, melhoria reativa ou melhoria proativa (ATTADIA; MARTINS, 2003). A efetividade do processo de melhoria contínua ocorre quando é efetuada como um processo estratégico com foco no longo prazo. Assim, para sua aplicação no PSA, exige compromisso da liderança, o compartilhamento do conhecimento sobre o sistema entre diferentes departamentos e a manutenção do compromisso em longo prazo, firmado pelo prestador de serviço e as demais partes interessadas (OLUWASANYA; CARTER, 2017).

3.3.4 Experiência internacional com PSAs

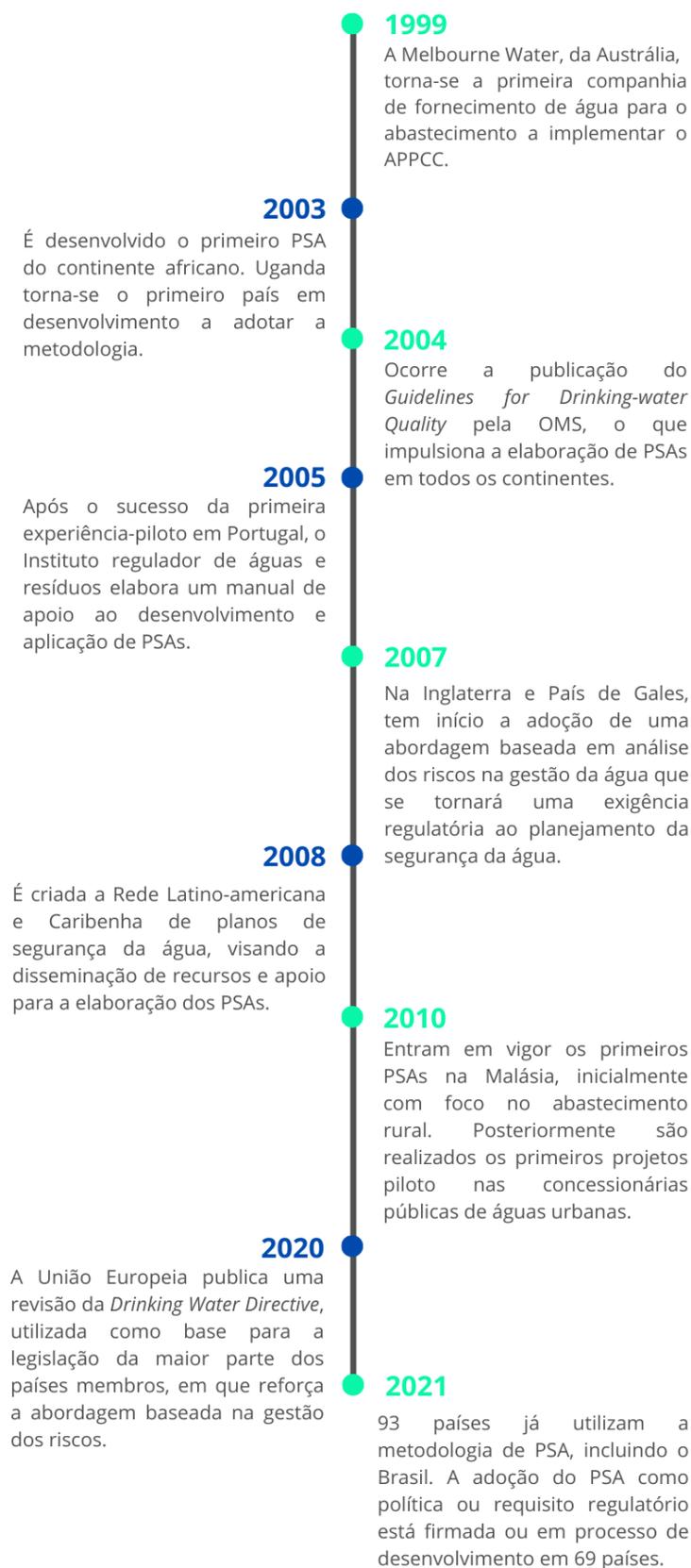
A primeira companhia de fornecimento de água para abastecimento a implementar o APPCC foi a *Melbourne Water* (MW), localizada em Victoria, Austrália. Em 1999, o sistema de gestão da qualidade da MW adotou uma metodologia similar ao que seria a estrutura de um PSA. O resultado obtido foi considerado um êxito em relação ao controle da qualidade da água por parte das entidades gestoras (WHO, 2005). No ano de 2003, foi desenvolvido o primeiro PSA no continente africano, na cidade de Campala, em Uganda. Esta foi a primeira experiência em que um país em desenvolvimento adotou a metodologia, recebendo assistência do Centro de Água, Engenharia e Desenvolvimento (WEDC) do Reino Unido. Seguindo as recomendações da OMS no *Guidelines for Drinking-water Quality*, a partir de 2004, diversos países iniciaram a elaboração de PSA como ferramenta de gestão da água de abastecimento (WHO, 2005). A Figura 2 destaca algumas das experiências ocorridas internacionalmente.

No continente europeu, as primeiras experiências ocorreram logo nos anos seguintes. Em 2004, foi concretizada uma experiência-piloto em Portugal, na empresa Águas do Cávado S.A, cujo fornecimento de água atendia a cerca de 600 mil habitantes. Essa experiência motivou a elaboração de um manual de apoio às entidades gestoras portuguesas no desenvolvimento e aplicação de Planos de Segurança da Água, desenvolvido em 2005 pelo Instituto regulador de águas e resíduos (VIEIRA; MORAIS, 2005). Na Inglaterra e no País de Gales, a evolução das concessionárias em direção a uma abordagem baseada em análise dos riscos se iniciou em 2007 e tornou-se uma exigência regulatória ao planejamento da segurança da água (GUNNARSDÓTTIR; GISSURARSON, 2008).

Na Islândia, a maior parte do abastecimento de água potável provém de mananciais subterrâneos e geralmente a água não passa por nenhum tipo de tratamento, nem mesmo a desinfecção. A implementação do PSA neste país resultou em maior conformidade com as normas estabelecidas e melhoria na qualidade da água. Outro aspecto relevante foi que a água passou a ser considerada uma questão de saúde pública e assim reduziu-se significativamente a incidência de diarreia após a implementação do PSA (GUNNARSDÓTTIR; GISSURARSON, 2008). Na França e na Espanha, foi realizado um estudo para avaliar os resultados da aplicação do PSA em um SAA de grande porte. Foram utilizadas análises da qualidade da água e

indicadores de conformidade entre 2003 e 2015, com aplicação de modelos de regressão de Poisson ou Tobit para avaliar a qualidade da água antes e após a implantação do PSA. O estudo concluiu que a implementação de um PSA resultou em qualidade da água inalterada ou melhorada e conformidade com a legislação melhorada na maioria dos locais (SETTY *et al.*, 2017).

Figura 2 - Experiências internacionais na elaboração de PSAs.



Fonte: A autora (2021).

Em fevereiro de 2020, a União Europeia publicou uma revisão de suas diretrizes para a água de abastecimento (*Drinking Water Directive*), utilizadas como base para a legislação dos países membros. A atualização reforçou a abordagem baseada na gestão dos riscos com a elaboração de PSAs (HASAN; PARKER; POLLARD, 2021; DETTORI *et al.*, 2022).

No continente asiático, destaca-se a experiência da Malásia. Os primeiros PSAs elaborados no país tinham como foco o abastecimento rural e entraram em vigor a partir de 2010. Somente no ano seguinte foram elaborados os PSAs para concessionárias públicas de águas em áreas urbanas, começando com projetos pilotos. No ano de 2018, ampliou-se o esforço para aumentar o número de sistemas de tratamento utilizando o PSA para a gestão, visto que havia 70 sistemas, entre os 450 existentes, com PSAs já em funcionamento (HASAN; PARKER; POLLARD, 2021).

No continente americano, ocorreu em 2008 uma iniciativa para promover a ampliação do PSA como ferramenta de gestão. Visando à disseminação de recursos e apoio para a elaboração dos PSA, criou-se a Rede Latino-Americana e Caribenha de planos de segurança da água. Na Colômbia, o maior progresso no desenvolvimento de PSA ocorreu em SAA de pequenas cidades, como Zipaquirá e Manizales, e na zona rural. Para a maior parte dos sistemas, a elaboração foi viabilizada pela cooperação interinstitucional entre o prestador de serviços e o setor acadêmico (PÉREZ-VIDAL; ESCOBAR-RIVERA; TORRES-LOZADA, 2020). Nos Estados Unidos, Baum *et al.* (2015) examinaram o potencial valor agregado dos PSAs para a melhoria da qualidade da água potável e a contribuição dessa metodologia à legislação de água potável daquele país. Os resultados do estudo mostraram um alinhamento entre as normativas existentes nos Estados Unidos e as etapas de descrição do SAA e definição de monitoramento e controles de um PSA. No entanto, Baum *et al.* (2015) verificaram também que as normativas estadunidenses são brandas quanto ao tempo de resposta à ocorrência de eventos perigosos. Assim, a implantação de PSAs pode contribuir para a melhoria do tempo de resposta e, conseqüentemente, com o controle da exposição da população à insegurança hídrica

A defesa consistente desta abordagem dos PSAs pela OMS, desde 2004, fez com que uma mudança significativa na vigilância da qualidade fosse alcançada, pelo gerenciamento de risco de forma preventiva e proativa. Até o ano de 2023, a

metodologia de PSA já está sendo utilizada em ao menos 93 países, incluindo o Brasil. Além disso, a adoção do PSA como política ou requisito regulatório está firmada ou em processo de desenvolvimento em 75% destes países. A aceitação e a aplicação do PSA em países pertencentes a todos os continentes demonstram o reconhecimento mundial da importância das práticas de gestão de risco para garantir a segurança da água potável (WHO, 2017; PÉREZ-VIDAL; ESCOBAR-RIVERA; TORRES-LOZADA, 2020).

3.3.5 Experiência brasileira com PSAs

Embora definido pela legislação, o uso do PSA como instrumento de planejamento e monitoramento dos recursos hídricos ainda é recente no Brasil. Há poucas experiências, a maioria em fase de implantação e consolidação metodológica. Os primeiros planos foram elaborados no Brasil a partir dos anos 2000. Grande parte das experiências concentra-se nas regiões Sul e Sudeste, destacando-se os estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e também o Distrito Federal. Poucos dados relativos a estas experiências estão disponíveis, visto que em grande parte são desenvolvidas internamente nas concessionárias (VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019).

No ano de 2006, em Viçosa (MG), o projeto piloto de um PSA foi executado por uma equipe da Universidade Federal de Viçosa, com fomento do Ministério da Saúde. O estudo de caso foi desenvolvido no SAA operado pelo SAAE de Viçosa, cuja captação ocorre no Ribeirão Turvo Sujo e no Ribeirão São Bartolomeu. O tratamento é realizado em três ETAs, sendo uma delas localizada dentro da própria universidade. A elaboração seguiu as recomendações preconizadas pela OMS e utilizou o método de APPCC. Foi empregada uma abordagem semiquantitativa que gerou como produtos, a partir de um SIG, uma série de mapas de riscos para cada etapa do SAA (BRASIL, 2012; SOUZA, 2014).

No âmbito da pesquisa, há contribuições diversas para a elaboração de PSAs em municípios de diferentes regiões do país. De forma geral, os estudos apresentam análises de risco para determinados sistemas ou para um aspecto específico do SAA de determinado município. Fabbro Neto e Gómez-Martín (2020) estabeleceram uma comparação entre o PSA do município de Caraguatatuba (SP), em que há grande fluxo turístico, e experiências internacionais na Espanha, Austrália e México, visando

identificar possíveis melhorias a serem implementadas. Os autores ressaltaram a importância de integrar o PSA às normativas de uso e ocupação do solo, favorecendo uma análise mais aprofundada sobre a quantidade da água.

Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019) avaliaram o PSA implantado na ETA Guaraú, do sistema Cantareira, que abastece a região metropolitana de São Paulo. O estudo se concentrou na identificação da concepção metodológica do plano, analisando os desafios à sua implantação e as potencialidades para o controle efetivo do SAA. Dentre as conclusões decorrentes do estudo, destacam-se a necessidade de integração entre o PSA e os planos de bacia hidrográfica, além da identificação da existência de lacunas quanto à produção de estudos científicos e manuais práticos de elaboração de PSAs. Pinto (2020) propôs em seu estudo medidas de gestão para melhoria da qualidade das águas da bacia do rio Capivari, utilizando a metodologia de PSA, integrando os SAA distintos existentes na bacia. O autor apresentou como proposta uma alteração dos pontos e parâmetros de monitoramento e alertou para a necessidade de modificação do enquadramento do Ribeirão Piçarrão, em Campinas (SP), que considera inadequado para a manutenção da qualidade dos corpos hídricos da bacia.

Na região Nordeste, os estudos concentram-se principalmente nos SAA de regiões próximas às capitais. O objetivo do estudo de Lima (2010) foi o desenvolvimento e a implantação de um PSA dentro do plano de expansão do SAA de Natal (RN), com identificação dos PCC e sugestões de medidas de controle. Gradwohl (2012) aplicou a metodologia de PSA nos SAA dos municípios pertencentes à Região Metropolitana de Fortaleza (CE) e utilizou a Lógica Fuzzy e o software Matlab para analisar o nível de risco a que estava submetido cada SAA. Oliveira *et al.* (2016) avaliaram o risco de contaminação da água por agrotóxicos em manancial localizado em um município da grande Aracaju (SE), próximo a áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

O estudo de Oliveira e Teixeira (2018) teve como objeto a rede de distribuição do município de Formosa (GO), com a execução de uma análise de riscos para esse componente específico do SAA, utilizando uma matriz de priorização. De forma mais ampla, Souza (2014) propôs uma metodologia para a aplicação do Plano de Segurança da Água no município de Bento Gonçalves (RS) para todo o SAA. Com foco em municípios cujo SAA é operado por uma autarquia municipal, Rosso, Lamin

e Silva (2006) desenvolveram um Projeto Piloto de Elaboração e Implantação do Plano de Segurança da Água, com o apoio técnico da Funasa. O projeto foi realizado em uma autarquia intermunicipal localizada no estado de Santa Catarina.

De forma geral, os estudos apresentados indicam que há viabilidade de aplicação da metodologia aos SAA brasileiros. O uso da metodologia de PSAs possibilita uma maior compreensão sobre os processos e operações que ocorrem dentro dos SAA e a identificação de problemas técnicos a serem resolvidos. Também facilita a priorização das ações a partir dos riscos estimados (SOUZA, 2014). Os principais desafios encontrados na execução de um PSA no país são, tipicamente, o levantamento de dados e informações (muitas vezes inexistentes ou com acesso restrito); a articulação entre os prestadores de serviço e os órgãos de gestão dos recursos hídricos; e a falta de comprometimento da alta administração que assegure os investimentos financeiros necessários à confiabilidade no planejamento (SOUZA, 2014; VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Como subsídio à elaboração do PSA do SAA de São Carlos (SP) foi enfatizada a captação de águas superficiais para abastecimento público. As etapas da pesquisa seguiram os procedimentos preconizados para o desenvolvimento do PSA e foram aplicadas conforme as metodologias descritas por WHO (2009) e Brasil (2012). Foram incluídos todos os passos de avaliação do sistema, com entrada de dados a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo e análise da qualidade da água bruta. Também foram realizadas visitas de campo para diagnosticar a situação atual das captações e das respectivas bacias contribuintes, além da obtenção de informações acerca dos perigos observados pela equipe da concessionária responsável pelo controle e operação e do sistema.

Os dados do SAA apresentados nos subitens a seguir descrevem a situação observada e as informações disponíveis durante a realização desta pesquisa, correspondente ao período de 2021 a 2023.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O objeto deste estudo foram as captações superficiais do SAA de São Carlos, localizado na região central do estado de São Paulo, distante cerca de 228 km da capital. O município se situa entre as coordenadas 48°5'27,6" e 47°43'8,4" (longitude oeste) e 21°35'50,7" e; 22°9'39,7" (latitude sul) e possui uma área total de 1.136,9 km² (IBGE, 2017b). São Carlos possui aproximadamente 244 mil habitantes e uma densidade demográfica de 214,7 hab/km², com um grau de urbanização de 96% (SEADE, 2021). O IDH do município de São Carlos, no ano de 2010, era de 0,805, considerado muito alto (IBGE, 2017b).

O clima de São Carlos é tropical de altitude, um clima quente com inverno seco e verão chuvoso, com precipitações mensais médias variando entre 30 mm, no mês mais seco, e 300 mm nos meses mais chuvosos. Os principais biomas originais abrangidos pela área do município são o Cerrado e a Mata Atlântica (IBGE, 2017b; FREITAS; SANTOS, 2020).

O município de São Carlos está inserido em duas Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), a UGRHI 9 (Mogi-Guaçu) e a UGRHI 13 (Tietê/Jacaré). Esta última é composta pelas sub-bacias hidrográficas do Rio

Chibarro, do Ribeirão do Feijão, do Rio Jacaré-Guaçu e do Rio Monjolinho (FREITAS; SANTOS, 2020). Dentre essas, destacam-se duas, em que as captações alvo deste estudo estão localizadas: a do Rio Monjolinho e a do Ribeirão de Feijão.

A sub-bacia do Rio Monjolinho abrange uma área de aproximadamente 275 km², protegida pela APREM do Rio Monjolinho (FREITAS; SANTOS, 2020). A nascente deste corpo hídrico se localiza a 900 m de altitude, a leste do município de São Carlos. Percorre uma extensão de 43 km, passando pela área urbana do município e deságua no Rio Jacaré-Guaçu na divisa entre São Carlos e Ribeirão Bonito. Segundo o SAAE São Carlos, o Rio Monjolinho contribui com 13% da água total utilizada para o abastecimento público do município de São Carlos, o que corresponde a 35% do volume captado em mananciais superficiais pela concessionária (informação pessoal)¹. A captação de água localiza-se mais especificamente no Córrego do Espreado, que percorre cerca de 2 km, nascendo na área rural do município e desaguando no Rio Monjolinho (SAAE SÃO CARLOS, 2021a; FREITAS; SANTOS, 2020).

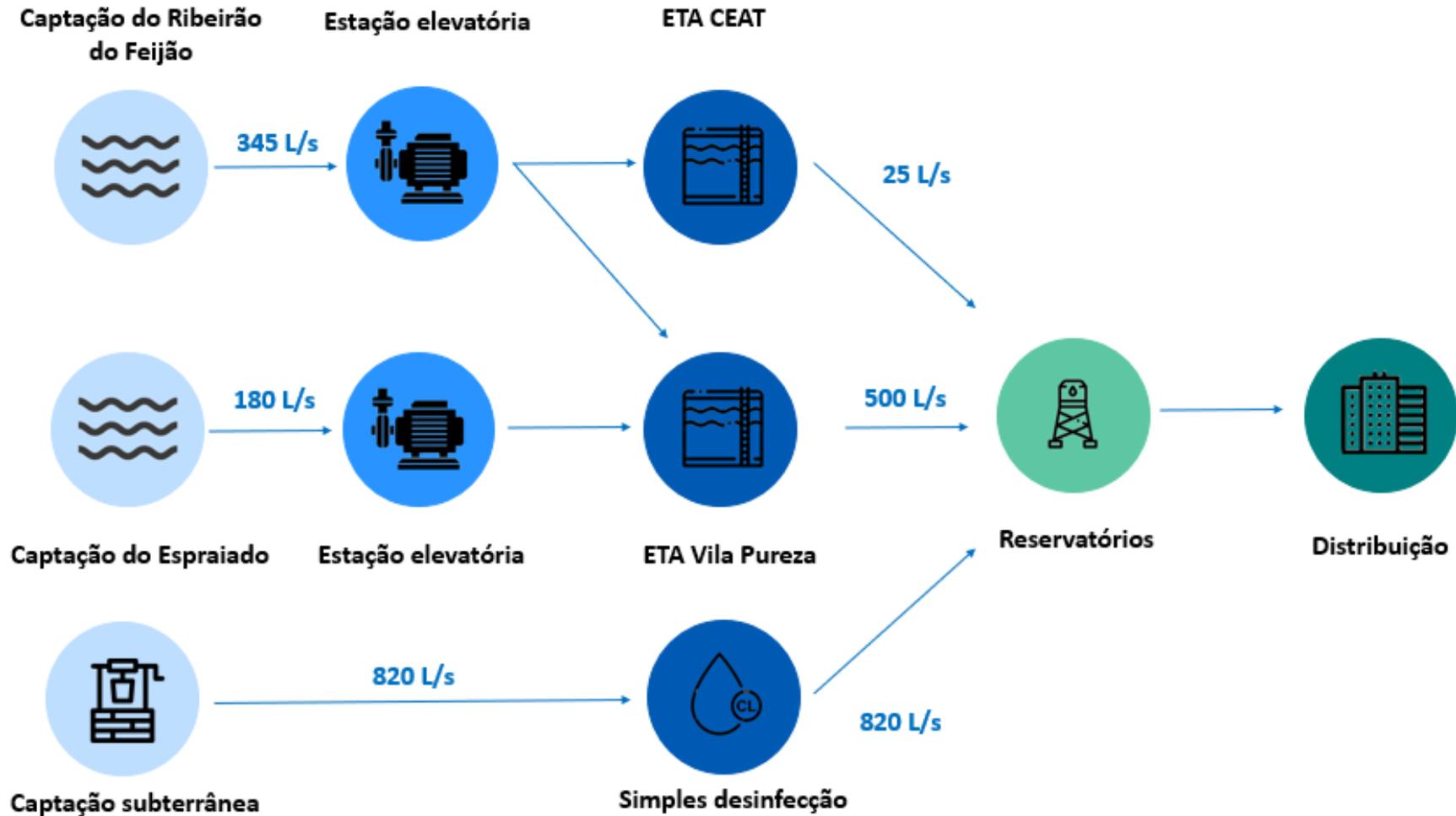
A sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão possui uma área de aproximadamente 220 km². Grande parte dessa área localiza-se no município de São Carlos, sendo 130 km² inseridos na APREM do Ribeirão do Feijão, onde está a captação superficial do SAA. O Ribeirão do Feijão possui 13 km de extensão, dividindo os municípios de São Carlos, Analândia e Itirapina. A nascente deste ribeirão fica no alto da Serra do Cuscuzeiro, em Analândia, e sua foz no Ribeirão do Lobo, em Itirapina (FREITAS; SANTOS, 2020). De acordo com o SAAE São Carlos, o Ribeirão do Feijão fornece 25% da água utilizada para o abastecimento público de São Carlos, o que corresponde a 65% do volume captado pela concessionária em mananciais superficiais (informação pessoal).¹

A captação da água é executada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de São Carlos, uma autarquia criada pela Lei Municipal nº 6.199/1969 para atender a população com os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (SAAE SÃO CARLOS, 2021b). Além da água captada superficialmente, o SAAE também realiza captação subterrânea, retirando a água do Aquífero Guarani por meio de poços profundos. A Figura 3 apresenta um diagrama esquemático do

¹ SAAE São Carlos. Memorial descritivo captações ETA. Destinatário: Bianca de Souto Homrich. [São Carlos], 27 de jun. 2022. 1 mensagem eletrônica.

SAA de São Carlos. Este sistema produz cerca de 45 milhões de m³ de água por ano para abastecer 100% da população domiciliada na urbana legal do município. Há um total de 111.284 ligações ativas e cerca de 1.000 km de extensão de rede de distribuição (BRASIL, 2020b).

Figura 3 - Diagrama esquemático do SAA de São Carlos.



Fonte: A autora (2022).

4.1.1 Captação do Espraiado

A captação de água do Espraiado (Figura 4) está localizada nas coordenadas 21°59'12,30"S e 47°52'31,90"O. Os primeiros registros da operação desta captação datam da década de 1930 e, em 1968, foi realizada uma remodelação para adequação à construção da ETA Vila Pureza. A água captada advém do Rio Monjolinho e do Córrego do Espraiado, para complementar a vazão necessária ao abastecimento, sendo que a mistura da água de ambos ocorre na própria área da captação. A vazão de água recalçada nesta captação é de cerca de 180 L/s. A estrutura da captação é composta por caixa de areia com gradeamento, reservatório de acumulação em concreto, poço de sucção, casa de bombas e adutora.

Figura 4 – Reservatório de acumulação e poço de sucção da captação do Espraiado.



Fonte: A autora (2022).

O gradeamento, localizado à entrada da captação, é do tipo grosseiro. A limpeza da grade é realizada diariamente, de forma manual, pelos operadores. A caixa de areia é construída em concreto armado, com dimensões aproximadas de 75 m² e 3 m de profundidade. A frequência de limpeza da caixa de areia era anual ou de acordo com a demanda. Porém, a partir maio de 2022, as operações de limpeza das

caixas de areia passaram a ocorrer de modo constante, com armazenamento do material retirado em bolsas geotêxteis.

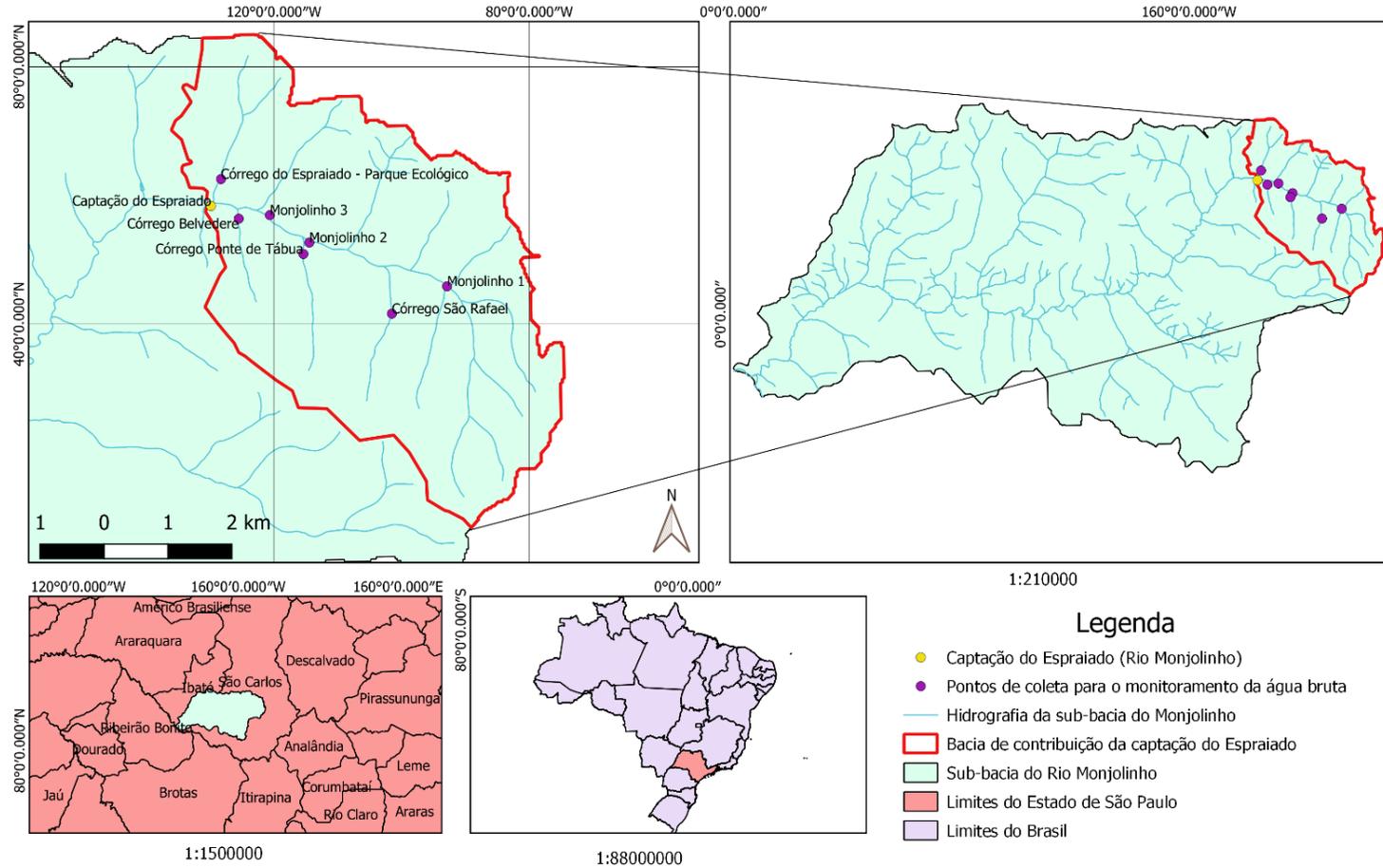
A instalação possui dois conjuntos motor-bomba em operação, embora haja um terceiro conjunto (reserva) que pode operar em conjunto com os outros dois, ampliando a capacidade de vazão da captação, caso necessário. Os três conjuntos são da marca Higrá, com vazão de 100 L/s, altura manométrica de 75 mca, potência do motor de 175 cv e rotação de 1.750 rpm. Após a captação, a água é recalçada em uma adutora em ferro fundido, com diâmetro de 400 mm e comprimento aproximado de 6 km, prosseguindo para o tratamento na ETA Vila Pureza, conforme apresentado no diagrama da Figura 3.

O quadro de funcionários atuantes nesta captação conta com cinco colaboradores: quatro operadores da casa de bombas, cujo regime de trabalho funciona em turnos alternados de 6 h diárias, e um auxiliar de manutenção geral, que trabalha em horário comercial. O treinamento dos funcionários ocorre apenas sob demanda, não havendo um calendário pré-definido de treinamentos e capacitações.

Quanto a contingências e emergências na área da captação, observa-se apenas a existência de extintores de incêndio na unidade, regularmente revisados pelo Setor de Segurança do SAAE. Não há outros procedimentos implantados, como delimitação de rotas de fuga ou definição de planos de emergência.

A partir da localização da captação e dos pontos em que são realizadas as coletas de água para o monitoramento da qualidade da água bruta pelo SAAE foi elaborado um mapa de localização (Figura 5), utilizando o SIG QGIS 2.18.3 Las Palmas *with* GRASS 7.2.0.

Figura 5 – Localização da captação do Rio Monjolinho e dos pontos de monitoramento da qualidade da água bruta, com delimitação da bacia de contribuição da captação do Espraiado por curvas de nível a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA (BRASIL, 2008).



Elaboração cartográfica: Bianca de Souto Homrich / Projeção UTM - Datum SIRGAS 2000 - zona 23 s
 Fonte: CETESB (2016) e IBGE (2021)

Fonte: A autora (2022).

4.1.2 Captação do Feijão

A captação de água do Feijão (Figura 6) se localiza nas coordenadas 22°09'19,3"S e 47°50'42,6"O. O início da operação desta captação deu-se em 1969 e a água captada advém do Ribeirão do Feijão, com recalque de cerca de 345 L/s. A estrutura da captação é composta de caixas de areia, poço de sucção, casa de bomba e adutora.

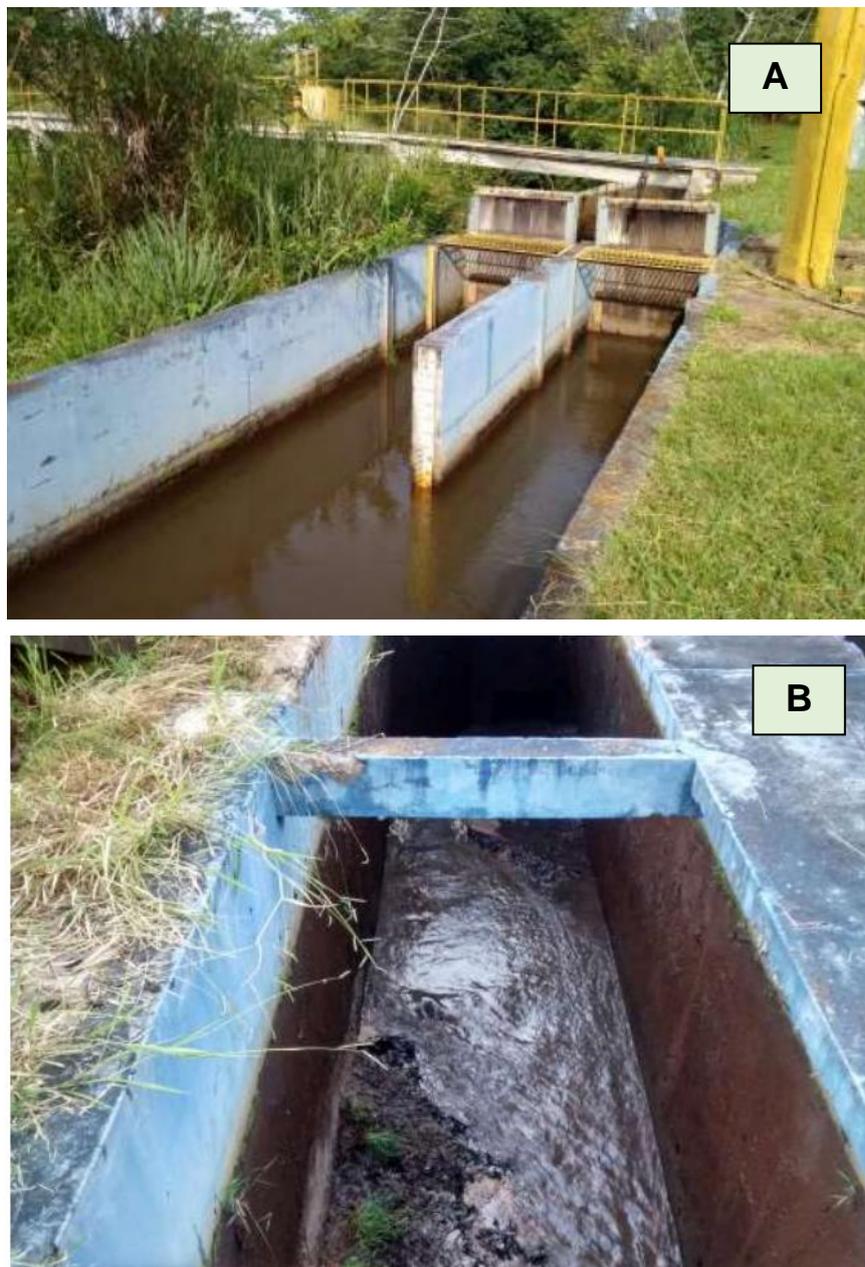
Figura 6 – Poço de sucção da captação do Ribeirão do Feijão



Fonte: A autora (2022).

Ao entrar na área da captação a água bruta passa diretamente por uma estrutura de canaletas de entrada negativas visando a redução da velocidade, pois não há gradeamento. As canaletas são construídas em concreto armado, em três trechos, incluindo uma chicana. Em seguida, a água segue para a caixa de areia (Figura 7). A limpeza da caixa de areia ocorre a cada quatro meses, em média, ou sempre que é identificada queda de vazão.

Figura 7 - A) – Canaleta de entrada da Captação do Ribeirão do Feijão (vista interna) B) Chicana para redução da velocidade da água na captação do Ribeirão do Feijão.



Fonte: Acervo SAEE São Carlos (2022).

A instalação possui sete conjuntos motor-bomba em operação, com regime de operação de quatro atuando e três na reserva, no ano de 2022. Três conjuntos são da marca Worthington e possuem potência 400 cv, vazão de 80 L/s, altura manométrica de 240 mca e rotação de 3.500 rpm. Os outros quatro são da marca Willo, com potência de 500 cv, vazão de 100 L/s, altura manométrica de 240 mca e rotação de 1.750 rpm. Após a captação, a água é recalçada por uma adutora em chapas de aço calandradas soldadas com revestimento betuminoso, com diâmetro de 600 mm e comprimento total de 18 km. Parte da água captada prossegue para

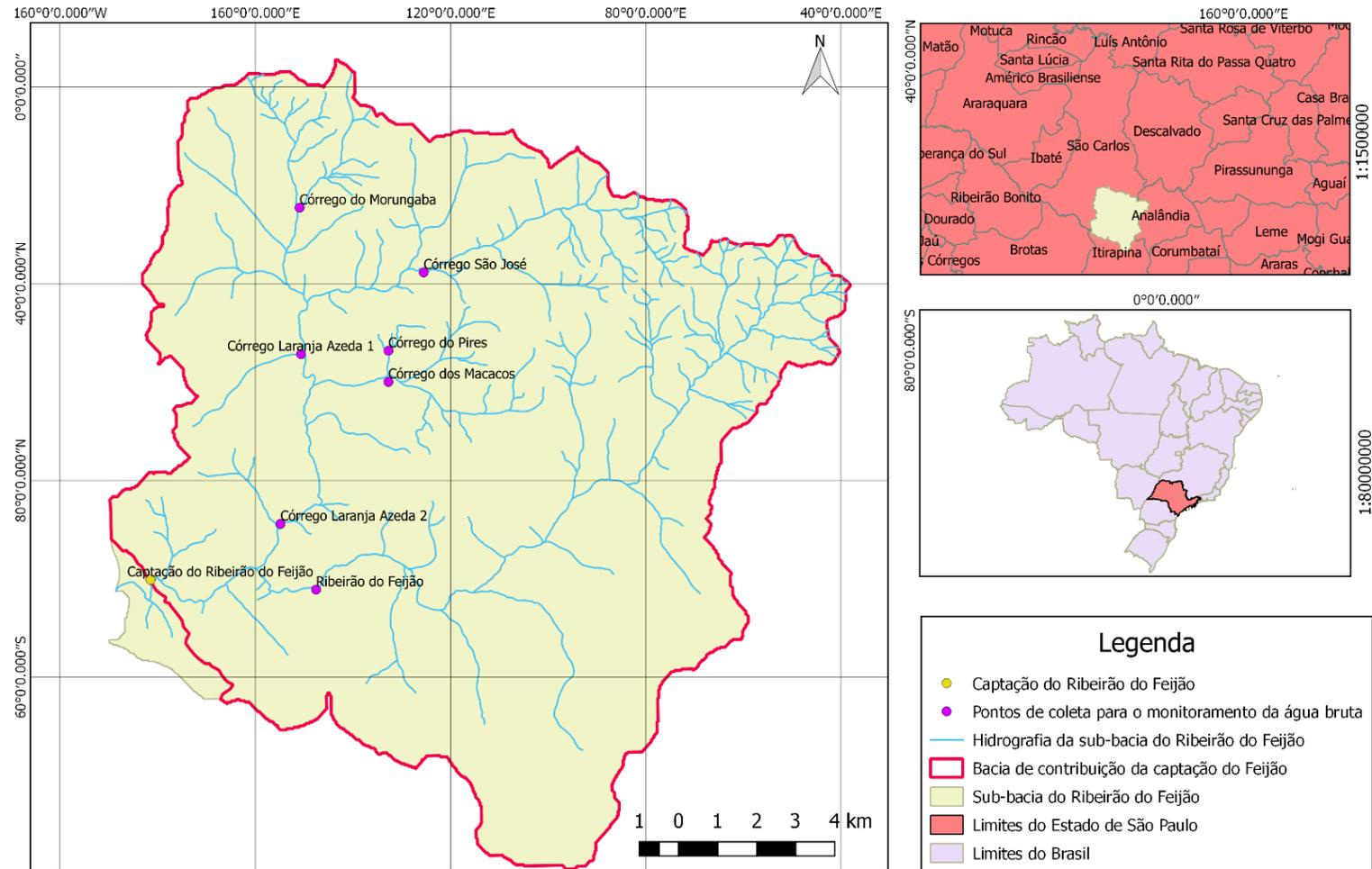
tratamento na ETA Vila Pureza e outra parte menor segue para a ETA CEAT, conforme apresentado no diagrama da Figura 3.

O quadro de funcionários atuantes nesta captação conta com seis colaboradores, cujo regime de trabalho funciona em turnos alternados de 6 h diárias. O treinamento dos funcionários ocorre apenas sob demanda, não havendo um calendário pré-definido de treinamentos e capacitações.

Quanto a contingências e emergências na área da captação, observa-se apenas a existência de extintores de incêndio na unidade, regularmente revisados pelo Setor de Segurança do SAAE. Não há outros procedimentos implantados, como delimitação de rotas de fuga ou definição de planos de emergência.

De forma similar ao executado para a captação do Espriado, procedeu-se a elaboração de um mapa de localização da captação do Feijão (Figura 8), também utilizando o utilizando o SIG QGIS 2.18.3 Las Palmas *with* GRASS 7.2.0.

Figura 8 - Localização da captação do Ribeirão do Feijão e dos pontos de monitoramento da qualidade da água bruta, com delimitação da bacia de contribuição da captação do Feijão por curvas de nível a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA (BRASIL, 2008).



Elaboração cartográfica: Bianca de Souto Homrich / Projeção UTM - Datum SIRGAS 2000 - zona 23 s
 Fonte: CETESB (2016) e IBGE (2021)

Fonte: A autora (2022).

4.1.3 Visitas técnicas aos pontos de monitoramento da qualidade da água bruta e às captações

Foram realizadas quatro visitas técnicas, duas à bacia de contribuição de cada captação, sempre no período da manhã. As visitas à sub-bacia do Rio Monjolinho ocorreram nos dias 25/03/2022 e 08/06/2022. As visitas à sub-bacia do Ribeirão do Feijão ocorreram nos dias 30/03/2022 e 22/06/2022.

O objetivo das visitas foi visualizar as condições dos mananciais em que ocorre a captação e as condições dos seus afluentes, identificando a presença de perigos potenciais à segurança hídrica. As visitas também buscaram validar e confirmar a classificação de uso e ocupação do solo por meio de software específico. Além disso, a avaliação do entorno dos mananciais possibilitou uma compreensão de fatores que poderiam influenciar os dados de qualidade da água bruta, visto que os mananciais visitados correspondem aos pontos em que é feita a coleta mensal das amostras para a análise da qualidade da água pelo SAAE São Carlos.

As visitas técnicas compreenderam um total de 16 pontos, sendo oito em cada bacia de contribuição de cada captação (Quadro 1). Destes, um correspondeu à captação em si e os outros sete, aos pontos em que é feita a coleta mensal para a análise da qualidade da água. Os mapas apresentados anteriormente (Figura 5 e Figura 8) indicam a localização destes pontos em relação às sub-bacias da área de estudo.

Quadro 1 - Pontos de coleta para a análise da qualidade da água bruta pelo SAAE.

	Ponto	Coordenadas geográficas
Sub-bacia do Rio Monjolinho	Monjolinho 1	21°59'55,4"S 47°50'25,7"O
	Monjolinho 2	21°59'34,0"S 47°51'42,3"O
	Monjolinho 3	21°59'17,8"S 47°52'1,7"O
	Córrego São Rafael	22°00'8,7"S 47°50'56,1"O
	Córrego Ponte de Tábua	21°59'37,7"S 47°51'43,8"O
	Córrego Belvedere	21°59'19,3"S 47°52'18,7"O
	Córrego do Espraiado	21°58'59,1"S 47°52'28,0"O
	Captação do Espraiado	21°59'12,3"S 47°52'31,9"O
Sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Córrego São José	22°04'59,2"S 47°49'01,3"O
	Córrego do Morungaba	22°04'03,9"S 47°50'51,0"O
	Córrego do Pires	22°06'03,3"S 47°49'34,1"O
	Córrego dos Macacos	22°06'29,3"S 47°49'15,8"O
	Córrego Laranja Azeda 1	22°06'04,7"S 47°50'52,2"W
	Córrego Laranja Azeda 2	22°08'24,5"S 47°51'13,3"O
	Ribeirão do Feijão	22°09'19,3"S 47°50'42,6"O
	Captação do Ribeirão do Feijão	22°09'08,6"S 47°53'10,2"O

Fonte: A autora (2022).

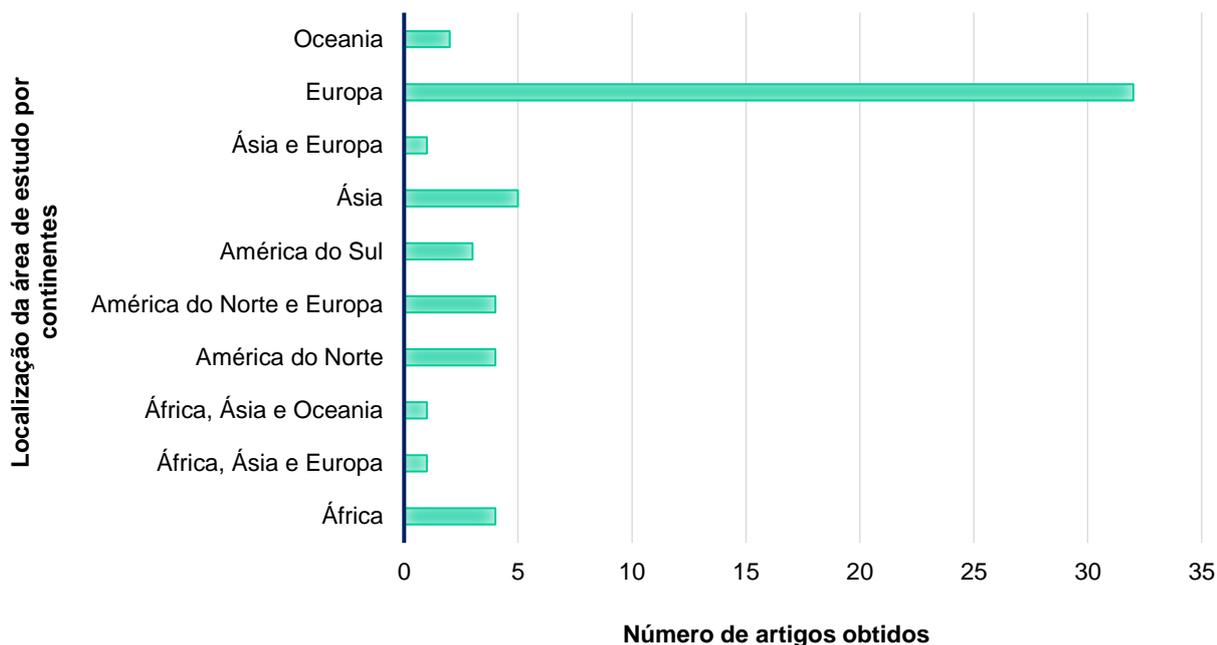
4.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DE PERIGOS E RISCOS IDENTIFICADOS NA LITERATURA

Considerando a inexistência de um modelo único para a elaboração do PSA e a existência de estudos aprofundados acerca da segurança hídrica em âmbito internacional, foi conduzida uma revisão sistemática para avaliar a produção científica de artigos científicos sobre a identificação de perigos e análise de riscos em SAA e seus diferentes componentes. A pesquisa considerou materiais cujo título, resumo ou palavra-chave contivessem os termos “plano de segurança da água” e “risco”, unidos pelo operador lógico “E” bem como suas respectivas traduções para o inglês “*Water Safety Plan*” e “*risk*”, unidas pelo operador lógico “*AND*”.

A busca resultou em 58 artigos, publicados no período de 2004 a 2022, provenientes de 27 periódicos indexados nas bases *Science Direct* e Scielo Brasil. Foi observada uma predominância de publicações multiautorais, isto é, com a colaboração entre autores.

Dentre os artigos obtidos na revisão sistemática, 38 apresentaram estudos de caso e 20 desenvolveram revisões acerca do tema. Quanto à distribuição geográfica, a maior parte dos estudos se concentrou em apenas um continente (88%): cinco na África, quatro na América do Norte, três na América do Sul (sendo destes dois no Brasil), cinco na Ásia, 32 na Europa e dois na Oceania. Os outros 12% se concentraram em mais de um continente: um na África, Ásia e Europa; um na África, Ásia e Oceania; quatro na América do Norte e Europa; e um na Ásia e Europa. O gráfico apresentado na Figura 9 ilustra esta distribuição.

Figura 9 – Distribuição geográfica por continente dos artigos obtidos como resultados da revisão sistemática de literatura.



Fonte: A autora (2022).

A estes materiais também foram adicionados um artigo (Côrrea; Ventura, 2020), uma dissertação (BRAGA, 2015) e dois manuais técnicos (VIEIRA; MORAIS, 2005 e BEUKEN *et al.*, 2008), que foram citados pelo menos uma vez em algum dos artigos obtidos na revisão sistemática.

Deve-se ressaltar que a revisão realizada representa um recorte do tema a partir de um conjunto de palavras-chave e filtros considerados pertinentes para esta pesquisa. Contudo, há a possibilidade de que artigos e outros textos relevantes possam ter sido excluídos da busca em virtude dos critérios adotados. Apesar disso, considera-se que os dados obtidos são adequadamente representativos do conhecimento disponível sobre o tema na literatura.

A partir dos materiais resultantes, foram separados aqueles que continham identificação de perigos e análises dos riscos, totalizando 17 documentos (14 artigos, uma dissertação e dois manuais técnicos). Os 159 perigos descritos nos materiais foram reunidos em um quadro, sendo agrupados aqueles considerados semelhantes. Alguns dos perigos foram associados, pelos autores, a mais de uma etapa do SAA, ou seja, podem ocorrer em mais de um ponto do sistema (e.g., recontaminação da água tratada, perigo associado tanto à etapa de reservação como à de distribuição).

Neste caso, tais perigos foram listados para todas as etapas com as quais se relacionam (Apêndice C).

Após a compilação foram separados os perigos aplicáveis a captação. Como os perigos considerados aplicáveis ao SAA como um todo têm potencial de afetar diretamente a captação superficial, estes também foram incluídos na lista de perigos e eventos perigosos pertinentes ao objeto de estudo desta pesquisa. Em sequência, foi empreendida a triagem dos perigos relevantes para a área de estudo, ou seja, que possuem potencial de afetar as captações superficiais do SAA de São Carlos, considerando as características geográficas, hidrográficas, socioeconômicas, ambientais e de operação do sistema em questão. Por fim, foram adicionados aqueles perigos identificados durante a identificação *in loco*, com realização de visitas de campo às captações e seus afluentes.

Na análise dos estudos obtidos na revisão sistemática verificou-se que alguns autores optaram por criar e aplicar uma categorização dos perigos e eventos perigosos como forma de organizá-los. Omar *et al.* (2017) realizaram uma subdivisão por temática para agrupar perigos identificados em estudos de caso com contexto semelhantes. Beuken *et al.* (2008) classificaram os perigos quanto à origem (i.e. configuração do sistema, operação, externa e subsistemas) e quanto ao tipo (i.e. biológico, químico, físico, radiológico, segurança para o pessoal e danos externos a terceiros). De forma similar, Lane *et al.* (2022) discriminaram os perigos segundo a origem, porém em apenas três categorias: manutenção, monitoramento e operação. Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018) categorizaram os perigos de acordo com o tipo de forma mais ampla, considerando apenas as categorias de perigos químicos, físicos e microbiológicos. Sorlini *et al.* (2017) e Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020) seguiram esta categorização, acrescentando mais duas às três categorias originais: insuficiência de água e infraestrutura.

No presente estudo foi proposta uma ordenação dos perigos e eventos perigosos aplicáveis ao objeto de estudo desta pesquisa a partir de oito diferentes categorias, levando em conta as experiências descritas nos estudos supracitados. As seis primeiras categorias foram definidas diretamente pelo tipo de situação fonte ou evento gerador do perigo.

Na primeira categoria, denominada “técnico”, estão inseridos os perigos acarretados pela operação do sistema e relacionados aos equipamentos e estruturas

do SAA. A categoria “financeiro” compreende os perigos decorrentes da gestão financeira do operador do sistema. Na categoria “recursos humanos”, foram incluídos os perigos que estão relacionados à atuação dos responsáveis pelo funcionamento do sistema, tanto no âmbito operacional quanto no administrativo. A quarta categoria foi denominada “social e cultural” e contempla os perigos que se originam a partir de questões culturais relacionadas à população e às características do local onde o SAA está instalado. A categoria “externalidade” inclui os perigos que fogem da responsabilidade e do escopo de atuação do prestador de serviço, como por exemplo, aqueles decorrentes do uso e ocupação na área do entorno do manancial de abastecimento. A sexta categoria foi denominada “acidental” e contempla os perigos derivados da ocorrência de acidentes, incidentes e desastres naturais.

A sétima e oitava categorias, por sua vez, tratam dos riscos não relacionados à ocorrência de eventos, de acordo com a classificação definida pelo Guia PMBOK® (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017). A sétima categoria foi definida como “variabilidade”, que corresponde à incerteza quanto às características-chave de uma atividade ou decisão planejada, como a diminuição do volume hídrico do manancial em decorrência de secas prolongadas. Por fim, foram atribuídos à categoria “ambiguidade” aqueles perigos em que há incerteza sobre o que pode vir a ocorrer no futuro, contemplando situações de difícil previsão, como as mudanças no padrão climático da região em que o manancial está inserido (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017).

4.3 ETAPAS DE AVALIAÇÃO DAS CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS COMO SUBSÍDIO AO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA DE SÃO CARLOS (SP)

4.3.1 Base de dados de uso e ocupação do solo

Para a verificação dos perigos decorrentes do uso e ocupação do solo nas duas sub-bacias foram elaborados mapas de uso e ocupação para os anos de 2014 e 2021. O recorte temporal adotado corresponde ao período em que os dados de qualidade da água foram disponibilizados pelo SAAE São Carlos para a avaliação neste trabalho.

A confecção dos mapas para dois períodos distintos foi adotada para permitir a avaliação da evolução do uso e ocupação do solo nas bacias e a possível influência na qualidade da água dos mananciais.

O mapeamento foi realizado no SIG QGIS 2.18.3 Las Palmas *with* GRASS 7.2.0, a partir de imagens do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 30 m. Foi realizada a composição de bandas em cores naturais (4,3,2) e cores naturais simuladas (6,5,4). Em seguida foi realizada a classificação manual das imagens, pela identificação de padrões homogêneos da cobertura do solo e delimitação por polígonos na área da bacia. Assim, foram obtidos mapas de uso e ocupação do solo da sub-bacia Ribeirão do Feijão e da sub-bacia do Rio Monjolinho para os anos de 2014 e 2021.

A nomenclatura utilizada para as classes identificadas foi definida conforme o sistema de classificação para o uso e cobertura da terra do IBGE (2013), com adaptações visando a melhor adequação à área de estudo. Para a classe “área campestre” foi adicionada a descrição “(sítios, chácaras)” visando uma melhor descrição do uso e ocupação do solo na região. A classe “área urbano-industrial” foi simplificada para “área industrial” visto que algumas das indústrias encontram-se fora da área urbana no município. A classe “área descoberta” foi substituída pela nomenclatura “solo exposto”, mais usualmente encontrada na literatura. À classe “pastagem” adicionou-se a descrição “vegetação rasteira” dada a dificuldade em identificar a diferença entre as duas na resolução da imagem de satélite disponível. As classes “ferrovia”, “rodovias e postos de combustível”, “aterro sanitário” e “estação de tratamento de efluentes” não constam no sistema de classificação do IBGE e foram adicionadas com o intuito de descrever com maior grau de detalhamento os usos identificados nas sub-bacias. Para validar a situação identificada pelos mapas, foram conduzidas visitas de campo nas duas áreas de captação, cujos detalhes já foram descritos anteriormente

4.3.2 Base de dados de qualidade da água

Foi conduzida a avaliação da qualidade da água bruta nos mananciais onde estão localizadas as estruturas de captação superficial, com base nas análises executadas pelo SAAE São Carlos para o controle de qualidade. O recorte temporal adotado para a avaliação também foi de 2014 a 2021. A escolha deste recorte se deu

devido à consistência na frequência dos dados disponibilizados pela autarquia para a realização da pesquisa.

O objetivo desta análise foi avaliar, sobretudo, a possível influência do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água dos mananciais, verificando como as atividades desenvolvidas nas sub-bacias podem estar associadas a degradação dos mananciais e, conseqüentemente, afetar o nível de risco para a segurança hídrica.

Visando abranger uma maior quantidade de indicadores, a avaliação compreendeu dois tipos de análise. Em ambas foi realizada a comparação dos valores obtidos nas análises com os limites máximos definidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para corpos hídricos de classe 2, na qual o Ribeirão do Feijão e o Rio Monjolinho estão enquadrados.

A primeira análise considerou os parâmetros analisados com frequência mensal pelo SAAE (Quadro 2). Os parâmetros físicos analisados nesta etapa foram cor verdadeira e turbidez. Quanto aos parâmetros químicos, foram analisados pH, nitrogênio amoniacal e oxigênio dissolvido. Por fim, o parâmetro biológico analisado foi coliformes termotolerantes.

Quadro 2 - Limites estabelecidos por parâmetro pela resolução CONAMA nº 357/05 para corpos hídricos de classe 2.

Parâmetro	Limite
Coliformes termotolerantes	Não deverá ser excedido um limite de $1,0 \times 10^3$ por UFC/100mL em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral*
Cor verdadeira	75 mg Pt/L
Nitrogênio amoniacal	3,7mg/L N, para pH \leq 7,5 2,0 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ 1,0 mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ 0,5 mg/L N, para pH $> 8,5$
Oxigênio dissolvido	5 mg/L O ₂ **
pH	6,0 a 9,0***
Turbidez	100 T

* Metodologia definida pela Resolução CONAMA nº 357/05; ** Limite para o valor mínimo; *** Valor deve estar contido no intervalo.

Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

O número de amostras analisadas variou para cada parâmetro, visto que, para fins de cálculo, foram utilizadas somente as amostras para as quais havia dados disponíveis referentes ao parâmetro em questão.

Inicialmente, verificou-se a quantidade de vezes em que houve a extrapolação dos limites definidos pela legislação para os parâmetros (não conformidade), com o objetivo de obter uma porcentagem indicativa da probabilidade de ocorrência dos perigos potencialmente relacionados à alteração destes parâmetros. Assim, para os parâmetros físicos e químicos as não conformidades foram contabilizadas por mês.

Em sequência, os meses foram agrupados de acordo com as características climáticas em que estão localizadas as captações, sendo um semestre chuvoso (meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro) e outro seco (meses de abril a setembro). A seguir, para cada semestre, foi calculada a porcentagem de não conformidades em relação ao número total de amostras analisada pelo SAAE para o parâmetro. Assim, para cada ano há duas porcentagens indicativas de não conformidade de cada parâmetro, referente aos semestres chuvoso e seco.

Na avaliação das análises mensais observou-se que não foram realizadas análises referentes aos meses do semestre seco na bacia do Feijão para o ano de

2021. Assim, não há dados para esse recorte do tempo para nenhuma das variáveis avaliadas.

Adicionalmente foi calculada a porcentagem global de não conformidades, considerando todas as amostras coletas e analisadas pelo SAAE, para cada parâmetro, durante o período de 2014 a 2021.

A análise de não conformidades para o parâmetro Coliformes Termotolerantes seguiu a metodologia definida pela própria Resolução CONAMA nº 357/05, segundo a qual não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em um total de 80% (com frequência mínima de coleta bimestral) das amostras coletadas durante o período de um ano (BRASIL, 2005).

Para cada ano em que foi superior a 80% o número de amostras em que o limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros foi excedido registrou-se a não conformidade daquele ano e a respectiva porcentagem de amostras que excederam o limite, para fins de comparação entre os parâmetros nas duas bacias e durante todo o período de estudo.

Após essa avaliação inicial, uma nova análise contemplou todos os parâmetros descritos pelo Artigo 15 da Resolução CONAMA nº 357/05, exceto os parâmetros apresentados no Quadro 2, já avaliados anteriormente. Foram avaliadas as análises realizadas semestralmente por um laboratório externo, contratado pelo SAAE, observando as variações dos valores obtidos para cada parâmetro ao longo dos anos. Cabe destacar que as análises passaram a ser realizadas semestralmente apenas no ano de 2017. Entre os anos de 2014 e 2016, foi realizada apenas uma análise anual, totalizando assim treze análises no período de estudo, para cada uma das sub-bacias. As não conformidades para cada parâmetro foram registradas como uma ocorrência para cada vez em que foram observadas, com treze não conformidades correspondendo ao valor máximo possível. Optou-se por não fazer a correspondência em porcentagem para proporcionar uma melhor visualização do número de não conformidades ao longo do período.

4.3.3 Identificação de perigos potenciais e avaliação dos riscos

Entre os perigos e eventos perigosos identificados na revisão sistemática de literatura (Apêndice C) foram identificados aqueles relevantes para a área de estudo, seguindo as características socioambientais e geográficas do SAA e das sub-bacias

em que estão inseridas as captações. Foi realizada a validação dos dados em campo, conforme recomendado por WHO (2009), para assegurar a inclusão de perigos que não foram identificados anteriormente partir da revisão de literatura. Conforme Brasil (2012), devem ser incluídos na identificação perigos cuja ocorrência tenha sido registrada anteriormente na operação do SAA. Seguindo esta orientação, foram incluídos na lista perigos e eventos perigosos já registrados pelo SAAE, a partir da experiência dos responsáveis pela operação e manutenção do sistema.

Uma vez identificados, a lista com todos os perigos e eventos perigosos considerados aplicáveis foi encaminhada para o SAAE São Carlos, direcionado ao setor responsável pela gestão do SAA para análise. Os perigos foram analisados em função do seu grau de risco, por meio de uma matriz de priorização de risco semiquantitativa.

Na técnica semiquantitativa, são atribuídos valores numéricos às probabilidades de ocorrência e consequências dos perigos. Quanto à probabilidade de ocorrência, isto é, frequência, foram consideradas cinco categorias (com seus respectivos pesos entre parênteses): quase certa (5), provável (4), moderada (3), improvável (2) e rara (1). Foram considerados de frequência quase certa aqueles perigos que ocorrem diariamente. A frequência provável foi atribuída aos perigos que ocorrem uma vez na semana. Os perigos considerados de frequência moderada são os que ocorrem uma vez ao mês. Já os de frequência improvável são os que ocorrem uma vez ao ano. A frequência rara foi atribuída aqueles perigos que ocorrem uma vez a cada cinco anos ou ainda mais espaçados no tempo.

Em relação à severidade, também foram consideradas cinco categorias, seguindo o definido por Ventura *et al.* (2009) e Brasil (2012), com respectivo peso entre parênteses: insignificante (1), baixa (2), moderada (3), grave (4) e muito grave (5).

Foram considerados insignificantes aqueles perigos que não resultam em impactos à qualidade da água. Os perigos considerados de baixa severidade foram aqueles que resultam em pequeno impacto sobre a qualidade estética ou organoléptica da água e/ou baixo risco à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do SAA. Perigos de elevado impacto estético e/ou com risco potencial à saúde, que pode ser minimizado em etapa seguinte do SAA, foram considerados de severidade moderada. Foi atribuída severidade grave aos perigos que possuam

potencial impacto à saúde, que não pode ser minimizado em etapa seguinte do SAA. A severidade muito grave correspondeu aos perigos com elevado risco potencial à saúde, que não pode ser minimizado em etapa seguinte do SAA (VENTURA *et al.*, 2009; BRASIL, 2012).

O cruzamento entre a probabilidade de ocorrência e a severidade da consequência, dado pela multiplicação entre os respectivos pesos, resulta em um valor numérico (BRASIL, 2012) (Quadro 3). A priorização de riscos foi determinada pela classificação do perigo com base nas escalas acima descritas. Perigos que originaram pontuação menor do que 6 foram considerados de baixo risco, seguindo pelos intervalos 6 a 9 (médio risco), 10 a 15 (alto risco) e acima de 15 (muito alto risco) (WHO, 2009). O nível do risco identificado possibilitou a priorização dos riscos, indicando a necessidade de adoção de medidas de controle e ações de gestão, bem como o prazo (emergencial, curto, médio e longo prazo) para que sejam adotadas.

Quadro 3 – Exemplo de matriz semiquantitativa de priorização de riscos

		Severidade da consequência				
		Insignificante (1)	Baixa (2)	Moderada (3)	Grave (4)	Muito grave (5)
Probabilidade de ocorrência	Quase certa (5)	5	10	15	20	25
	Provável (4)	4	8	12	16	20
	Moderada (3)	3	6	9	12	15
	Improável (2)	2	4	6	8	10
	Rara (1)	1	2	3	4	5
Pontuação do risco		<6 Baixo risco	6-9 Médio risco	10-15 Alto risco	> 15 Muito alto risco	

Fonte: Adaptado de WHO (2009).

Para aqueles perigos para os quais a mensuração direta foi considerada inviável sem estudos adicionais e específicos, optou-se por utilizar dados da literatura para a avaliação. Foram considerados estudos realizados preferencialmente nas sub-bacias do Rio Monjolinho e do Ribeirão do Feijão ou no município de São Carlos. Quando não identificados estudos considerando estas áreas, adotou-se o estado de São Paulo como limite para a aplicação nesta avaliação, embora tenham também sido

excluídos estudos a nível nacional, para os casos em que o contexto nacional pode ser aplicado sem prejuízo na avaliação. Para cinco perigos (a serem detalhados na seção 5) foi identificada a necessidade de avaliação do uso e ocupação do solo para atribuição da frequência. O Quadro 4 apresenta os critérios adotados para a mensuração.

Quadro 4 - Critérios adotados para avaliação da frequência a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo. (continua)

Perigo	Critério adotado para avaliação da frequência	Frequências associadas	
Proximidade de atividades agropecuárias ou de silvicultura ao manancial, com possível aplicação inadequada de fertilizantes e pesticidas e carreamento de resíduos para o manancial	Proximidade das áreas agrícolas ao manancial de captação.	Moderada	Existência de área agrícola na sub-bacia
		Provável	Existência de área agrícola na bacia de contribuição da captação
		Quase certa	Existência de área agrícola na APP dos mananciais da área de captação
Proximidade com atividades portuárias, pesca intensiva e piscicultura, inclusive depósito de latrinas de barcos próximo ao manancial	Presença ou ausência na sub-bacia.	Rara	Ausência
		Quase certa	Presença

Quadro 4 - Critérios adotados para avaliação da frequência a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo. (continuação)

Perigo	Critério adotado para avaliação da frequência	Frequências associadas	
Tráfego, inclusive ferrovias, aeródromos, estradas, áreas de estacionamento e postos de gasolina próximo ao manancial, causando emissões, vazamentos e derramamento de óleo, inclusive devido a ocorrência de acidentes	Presença ou ausência na sub-bacia.	Rara	Ausência
		Quase certa	Presença
Proximidade de atividades de mineração ao manancial	Proximidade das atividades de mineração ao manancial de captação.	Rara	Ausência de atividade mineradora na sub-bacia
		Moderada	Existência de atividade mineradora na sub-bacia
		Provável	Existência de atividade mineradora na bacia de contribuição da captação

Quadro 4 - Critérios adotados para avaliação da frequência a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo. (conclusão)

Perigo	Critério adotado para avaliação da frequência	Frequências associadas	
Carreamento de chorume de aterros sanitários, solos contaminados, depósitos de lixo ou cemitérios	Proximidade dos aterros e cemitérios ao manancial de captação; bem como a presença de depósitos de resíduos no manancial ou seus afluentes verificada <i>in loco</i> , sobrepondo-se a maior frequência.	Moderada	Existência de aterros ou cemitérios OU a presença de depósitos de resíduos na sub-bacia
		Provável	Existência de aterros ou cemitérios OU a presença de depósitos de resíduos na bacia de contribuição da captação
		Quase certa	Existência de área agrícola OU a presença de depósitos de resíduos na APP dos mananciais da área de captação

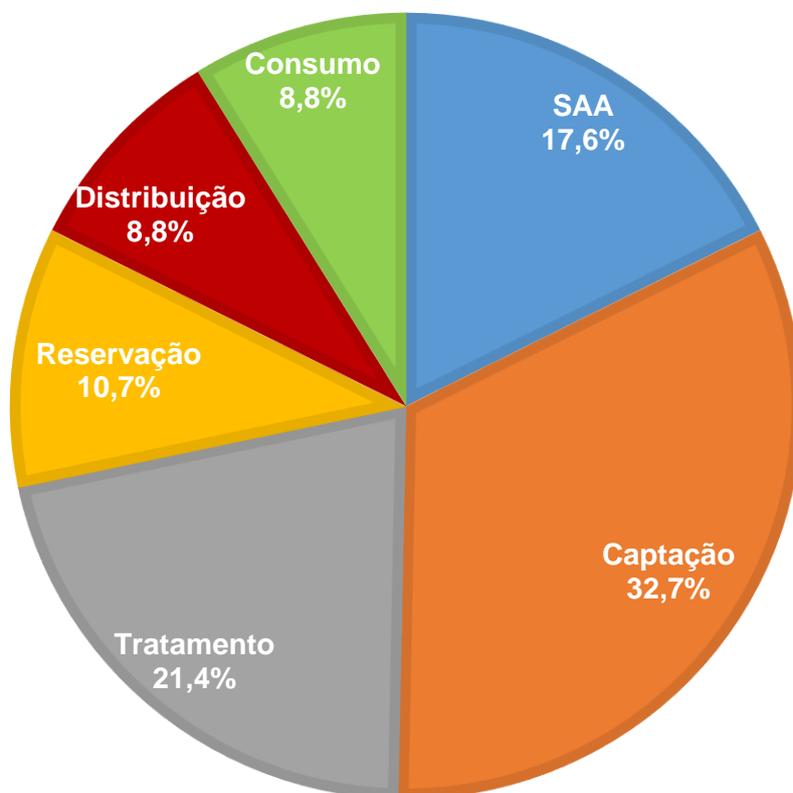
Fonte: A autora (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS E RISCOS

Pelo levantamento realizado na revisão sistemática de literatura, foram identificados 159 perigos e eventos perigosos (Apêndice C). Na Figura 10 pode-se verificar como tais perigos e eventos perigosos estão distribuídos no SAA de maneira geral ou em suas diferentes etapas (captação, tratamento, reservação, distribuição e consumo). 17,6% dos perigos se aplicam ao SAA como um todo. Destacaram-se as elevadas porcentagens de perigos associados exclusivamente às etapas de captação (32,7%), objeto de estudo desta pesquisa, e tratamento (21,4%).

Figura 10 - Distribuição dos perigos e eventos perigosos identificados na revisão sistemática de literatura para o sistema de abastecimento de água como um todo (SAA) e as respectivas etapas do tratamento às quais estão relacionados.



Fonte: A autora (2023).

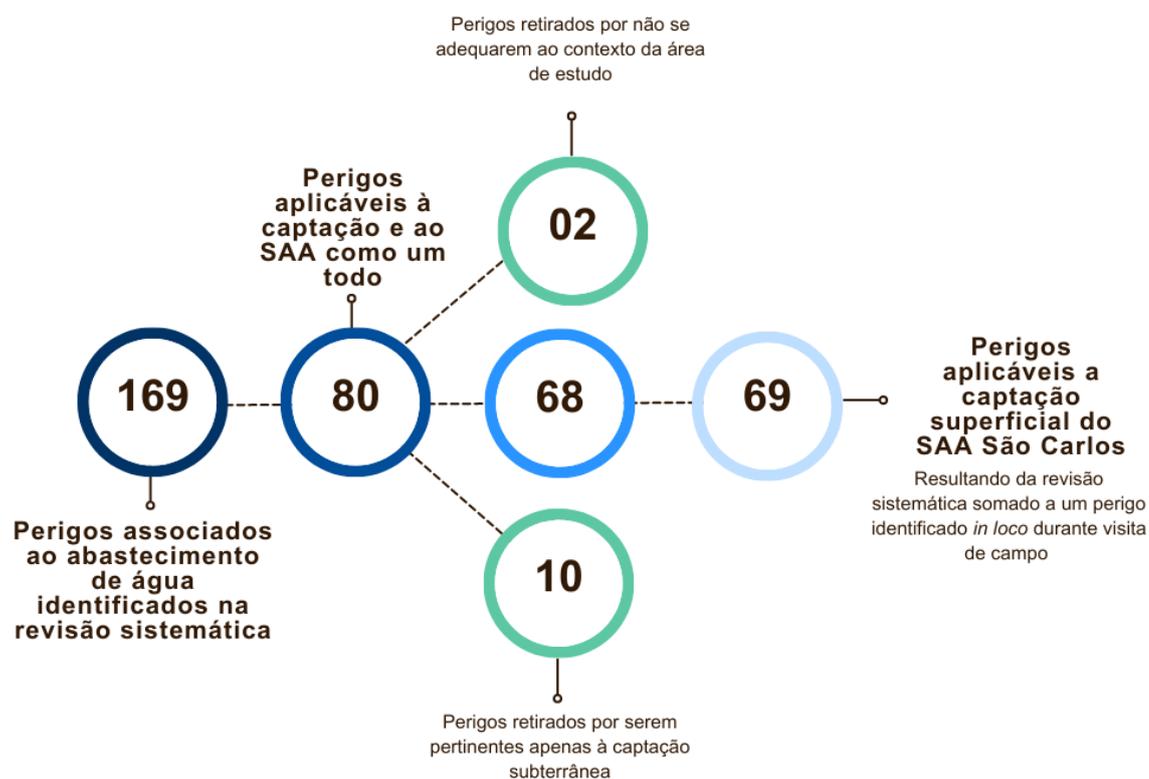
A seguir, procedeu-se a categorização dos perigos conforme as categorias descritas na seção 4.2. Para o SAA como um todo, predominaram perigos associados às categorias “social e cultural”, como os conflitos de uso da terra, e “técnico”, como a desatualização de dados referentes ao sistema e a inexistência de plano de emergência. Para a etapa da captação, destacaram-se os perigos relacionados às categorias “externalidade”, como a poluição difusa, e “técnico”, sobretudo quanto ao projeto e manutenção das estruturas utilizadas nos poços para a captação subterrânea. Para a etapa de tratamento, a maior parte dos perigos e eventos perigosos foi caracterizada como “técnico”, com destaque para falhas de projeto e cálculo para as etapas de coagulação e floculação. Para as etapas de reservação e distribuição, houve similaridade nos perigos, que se concentraram principalmente quanto à possibilidade de recontaminação da água após o tratamento, com maior número de perigos categorizados como “técnicos”. Já para o consumo, etapa em que a água já foi entregue nas residências e estabelecimentos, os perigos se dividiram entre as categorias “externalidade”, como a falta de manutenção das instalações no interior das residências, e “social e cultural”, como a corrupção e retirada ilegal de água. O quadro contendo a listagem completa dos perigos e eventos perigosos, as etapas do tratamento as quais estão associados e sua categorização, está apresentado no Apêndice C.

Dos 159 perigos identificados inicialmente, foi feita uma triagem dos que eram pertinentes às etapas de captação e ao SAA como um todo. Em sequência, foi feita a separação daqueles associados à captação superficial e que, portanto, são alvo desta pesquisa. Dos 80 perigos resultantes da triagem anterior, dois não foram considerados aplicáveis ao SAA de São Carlos devido às características ambientais e socioeconômicas da região, sendo estes: “mudanças na temperatura da água utilizada por usinas de energia” e “acidente de energia nuclear”. Assim, estes foram retirados da listagem considerada aplicável para esta pesquisa.

Além destes, foram retirados também 10 perigos e eventos perigosos categorizados como pertinentes apenas à captação subterrânea, que não é alvo de estudo desta pesquisa. Por fim, resultou da identificação em campo, durante as visitas técnicas feitas às captações e aos pontos de coleta e amostragem de água bruta, nos corpos hídricos que contribuem para a vazão dos mananciais de abastecimento, a adição do perigo “proximidade de gasoduto subterrâneo ao manancial”. Dessa forma,

totalizaram-se 69 perigos e eventos perigosos considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos (Figura 11).

Figura 11 - Diagrama da triagem dos perigos e eventos perigosos aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos a partir da listagem obtida através de revisão sistemática.



Fonte: A autora (2023).

Após a sequência apresentada pelo diagrama da Figura 11 foram considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos um total de 69 perigos e eventos perigosos (Quadro 5). Os perigos e eventos perigosos identificados nos pontos de coleta da água para o monitoramento da qualidade da água bruta foram assinalados com um “X”.

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continua)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Corrupção internamente ao prestador de serviço			Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Crença por parte do prestador de serviço de que se deve entregar primeiro e garantir a segurança da água depois			Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Priorização pelo prestador de serviço do fornecimento de água em quantidade, deixando a qualidade em segundo plano			Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Vandalismo, terrorismo e roubo			Beuken <i>et al.</i> (2008); Sorlini <i>et al.</i> (2017); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Falta de participação da comunidade na co-gestão do sistema			Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Controle/fiscalização deficiente da conformidade com normas e outros aspectos legais			Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico
Conflitos de uso da terra			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Social e cultural
Conflitos militares e interferências políticas			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Social e cultural

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Sabotagem, contaminação intencional ou ataque cibernético (por exemplo, manipulação de operações)			Vieira e Morais (2005); Hamilton, Gale e Pollard (2006); Beuken et al (2008)	Social e cultural
Insuficiência de funcionários para realizar a manutenção e operação			Beuken et al. (2008); Omar et al (2017)	Recursos humanos
Escassez ou não realização de treinamentos para os funcionários, por parte do prestador de serviço, que resulte em falta de conhecimento específico para a operação e manutenção do sistema, incluindo aspectos de segurança do trabalho			Beuken et al. (2008); Braga (2015); Omar et al. (2017); Lane et al. (2022)	Recursos humanos
Ausência do uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI) pelos operadores, apesar do fornecimento do EPI e realização de treinamento/capacitação prévia pelo prestador do serviço.			Braga (2015)	Recursos humanos

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Não conformidade com as diretrizes da concessionária na operação e manutenção do sistema, apesar da realização de treinamento/capacitação prévia pelo prestador do serviço.			Hamilton, Gale e Pollard (2006); Omar <i>et al.</i> (2017); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Desatualização de dados referentes ao sistema (ex: traçado das redes)			Omar <i>et al.</i> (2017)	Técnico
Uso de normas, leis e documentos técnicos desatualizados na gestão e operação do sistema			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Baixa qualidade dos dados que alimentam os sistemas de informação			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Inexistência de plano de emergência			Braga (2015); Li <i>et al.</i> (2020)	Técnico
Tubulações de esgoto e de água muito próximas (contaminação cruzada)	X		Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Contaminação devido ao uso de materiais não adequados ou desgaste devido ao uso de materiais não indicados para contato com água potável			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Deficiência na limpeza e manutenção das tubulações, acarretando inclusive vazamento ou ruptura da tubulação devido à corrosão interna e/ou externa			Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Financeiro
				Técnico
Deficiência na manutenção preventiva e calibração dos equipamentos, incluindo a inexistência de planos de manutenção dos equipamentos			Braga (2015); Lane <i>et al.</i> (2022)	Técnico
Inexistência de equipamentos de substituição (ex. bomba reserva)			Braga (2015); Lane <i>et al.</i> (2022)	Financeiro
				Técnico
Falhas nos alarmes e nos equipamentos do sistema de alerta			Vieira e Morais (2005)	Acidental
Acesso de pessoas não autorizadas às estruturas componentes do sistema			Braga (2015)	Social e cultural
Desastres naturais (ex. terremotos, tempestades, incêndios) e decorrentes de condições inadequadas de manutenção das instalações			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Acidental

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Mudanças nos padrões climáticos (ex. padrões de precipitação e evaporação)			Beuken <i>et al.</i> (2008); Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010); Li <i>et al.</i> (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Ambiguidade
Alteração no padrão de infecções (aumento da exposição a patógenos devido a migração de cidadãos, pandemias e epidemias)			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Ambiguidade
Poluição da água durante rituais religiosos e práticas culturais			Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Proximidade de assentamentos humanos de desenvolvimento incompleto/informal ao manancial	X		Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Proximidade de atividades comerciais informais e/ou ilegais ao manancial			Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Gestão inadequada dos recursos hídricos pelos órgãos competentes			Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Externalidade

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Rachaduras nas estruturas causadas por árvores e raízes			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade
Desmatamento em bacias afluentes, elevado grau de deterioração da vegetação ciliar e área de preservação permanente			Braga (2015); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Externalidade
Erosão, provocada por acúmulo de sedimentos, dragagem ou transporte; assoreamento; deslizamentos de terra; superfície de terra cárstica com dolinas abertas; terremotos	X	X	Beuken <i>et al.</i> (2008); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Acidental
				Externalidade
				Técnico
Proximidade de atividades agropecuárias ou de silvicultura ao manancial, com possível aplicação inadequada de fertilizantes e pesticidas e carreamento de resíduos para o manancial	X	X	Vieira e Morais (2005); Hamilton, Gale e Pollard (2006); Beuken <i>et al.</i> (2008); Li <i>et al.</i> (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Presença de animais, inclusive domésticos, no entorno do manancial	X		Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Descarga de águas residuárias de matadouros ou abate de animais próximo ao manancial			Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2020)	Externalidade

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um "X". (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Presença de carcaças de animais ao redor do manancial	X		Côrrea e Ventura (2020)	Externalidade
Descarte de resíduos sólidos nas proximidades do manancial, causando contaminação direta e/ou através de lixiviação de resíduos humanos ou de animais, inclusive o acúmulo de excrementos.	X	X	Côrrea e Ventura (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Carreamento de chorume de aterros sanitários, solos contaminados, depósitos de lixo ou cemitérios			Beuken <i>et al.</i> (2008); Côrrea e Ventura (2020)	Externalidade
Disposição de resíduos sólidos perigosos próximo ao manancial	X		Vieira e Morais (2005)	Externalidade
Proximidade com atividades portuárias, pesca intensiva e piscicultura, inclusive depósito de latrinas de barcos próximo ao manancial			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade
Inadequação e problemas na operação da rede de esgoto	X		Beuken <i>et al.</i> (2008); Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010)	Externalidade
				Técnico
Atividades de construção com interferência no subsolo (ex. construção de hidrovias, instalações para manuseio ou armazenamento de produtos perigosos, e instalações para trabalhadores da construção)	X		Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Derramamento de substâncias acidental e/ou durante respostas a emergência (como incêndios)			Beuken <i>et al.</i> (2008); Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010); Li <i>et al.</i> (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Acidental
Não realização do monitoramento de vazão			Braga (2015)	Técnico
Insuficiência na realização de análises de qualidade da água			Li <i>et al.</i> (2020)	Recursos humanos
				Técnico
Baixa capacidade analítica do laboratório do prestador de serviço para monitorar a qualidade da água bruta			Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico
Inexistência de cercamento e sinalização de segurança			Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Falhas ou rupturas na parte elétrica, nas juntas, nas válvulas e/ou na bomba			Sorlini <i>et al.</i> (2017); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Entrada de água contaminada por meio de rachaduras, orifícios e equipamentos danificados			Côrrea e Ventura (2020)	Técnico

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Ocorrência de eventos hidráulicos extremos como chuvas torrenciais e inundações, acarretando inclusive a inviabilização temporária na captação de água			Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2021)	Variabilidade
Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação ou fazendo com que haja volume insuficiente para abastecimento do sistema			Vieira e Morais (2005); Beuken <i>et al.</i> (2008); Lindhe <i>et al.</i> (2011); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Corrêa e Ventura (2021); Lane <i>et al.</i> (2022)	Variabilidade
Contaminação da água, inclusive em decorrência de acidentes, levando a inviabilização temporária na captação			Beuken <i>et al.</i> (2008); Lindhe <i>et al.</i> (2011)	Acidental
Tráfego, inclusive ferrovias, aeródromos, estradas, áreas de estacionamento e postos de gasolina próximo ao manancial, causando emissões, vazamentos e derramamento de óleo, inclusive devido a ocorrência de acidentes	X	X	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Acidental
Ruptura de barragens, inclusive de rejeitos, causando escoamento extremo e/ou contaminação da água			Beuken <i>et al.</i> (2008); Côrrea e Ventura (2020)	Acidental

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Aumento do nível de contaminantes e poluentes na água bruta acima da disponibilidade de tecnologias de tratamento da ETA			Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010); Li <i>et al.</i> (2020)	Acidental
				Variabilidade
Deposição atmosférica de produtos químicos tóxicos			Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade
Poluição por escoamento difuso de origem urbana			Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020)	Externalidade
Descarga de resíduos industriais, contendo produtos químico e/ou matéria orgânica, em cursos de água		X	Hamilton, Gale e Pollard (2006); Beuken <i>et al.</i> (2008); Li <i>et al.</i> (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Descarga de águas residuárias domésticas sem tratamento			Li <i>et al.</i> (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Lançamento de efluentes tratados advindos do sistema público de esgotamento sanitário ou de sistemas particulares no manancial de captação		X	Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade

Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (continuação)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Descarga de águas pluviais contaminadas pela intersecção com o sistema de drenagem			Vieira e Morais (2005); Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade
Proximidade de atividades de mineração ao manancial			Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Externalidade
Contaminação, acidentes ou espalhamento de materiais perigosos durante as atividades recreativas (ex. comícios em massa, instalações esportivas, esportes motorizados, campos de corrida de cavalos, jardim zoológico, acampamentos), ou militares (exercícios de campo e áreas de treinamento)			Vieira e Morais (2005); Beuken <i>et al.</i> (2008); Côrrea e Ventura (2020)	Social e cultural
Lavagem de roupas e banho na área de captação			Corrêa e Ventura (2021)	Social e cultural
Obstruções na remoção de sólidos e gradeamento devido ao dimensionamento incorreto, limpeza inadequada, inundações, formação de gelo, proliferação de algas, crescimento de plantas ou vandalismo.			Beuken <i>et al.</i> (2008); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019)	Social e cultural
				Técnico
				Variabilidade

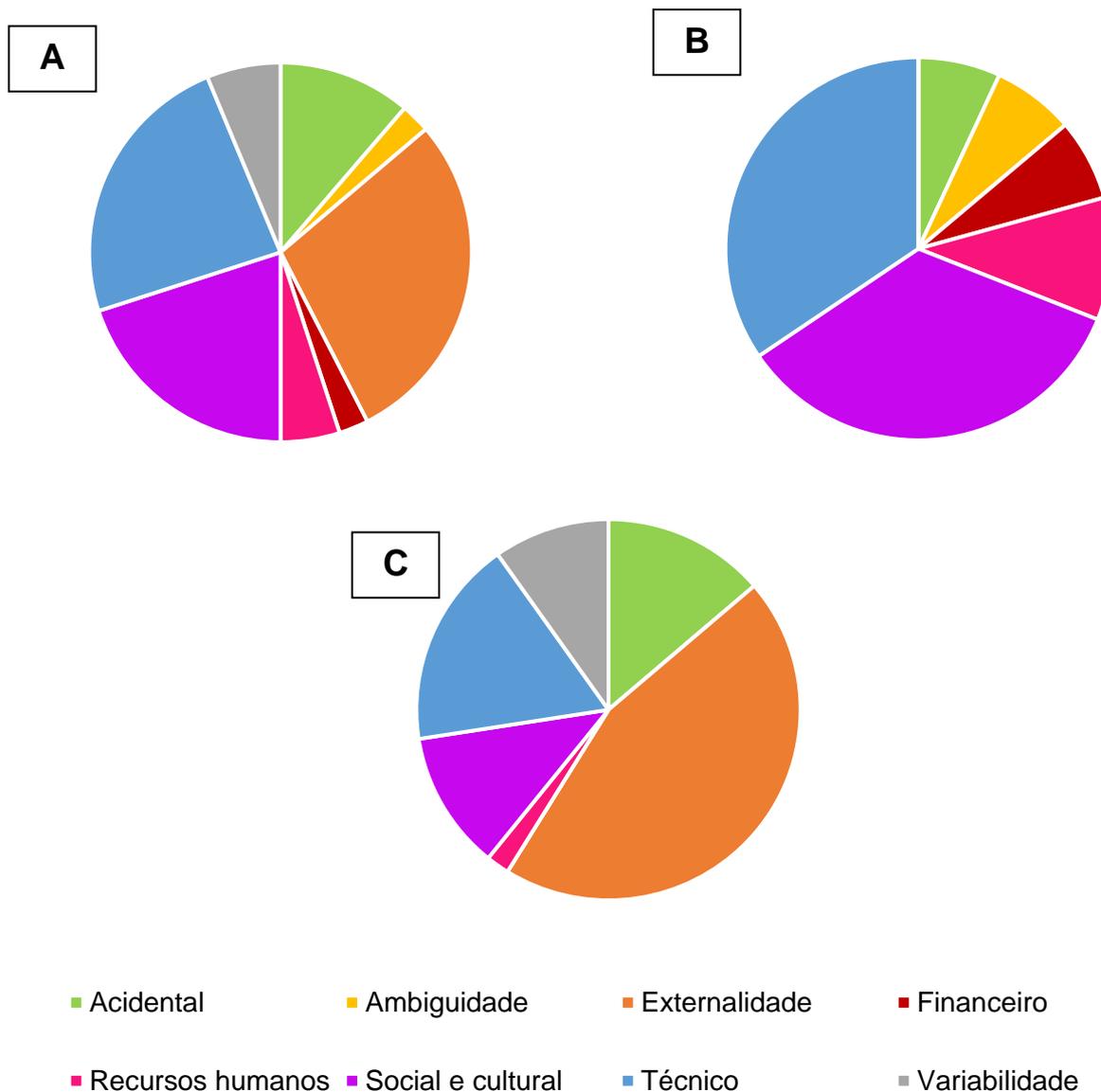
Quadro 5 - Perigos e eventos perigosos identificados na literatura para o SAA como um todo e a captação superficial, considerados aplicáveis às captações superficiais do SAA de São Carlos, com categorização. Os perigos e eventos perigosos cuja ocorrência foi verificada durante a visita técnica foram assinalados com um “X”. (conclusão)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência	Categoria
Floração de algas ou cianobactérias			Vieira e Morais (2005); Beuken <i>et al.</i> (2008); Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Variabilidade
Proximidade de gasoduto subterrâneo ao manancial		X	Identificado <i>in situ</i>	Externalidade

Fonte: A autora (2022).

A Figura 12 ilustra a divisão dos perigos e eventos perigosos considerados aplicáveis ao SAA de São Carlos nas categorias descritas na seção 4.2. O gráfico A trata da categorização dos 69 perigos e eventos perigosos apresentados no Quadro 5, em que se verificou a predominância das categorias “externalidade”, “técnico” e “social e cultural”. O gráfico B trata separadamente dos perigos e eventos perigosos associados ao SAA como um todo, enquanto o gráfico C trata separadamente daqueles exclusivamente associados à captação superficial. Para o SAA de maneira geral, predominaram perigos nas categorias “social e cultural”, “técnico” e “recursos humanos”. Para esse recorte, não foram identificados perigos que pertencessem às categorias “variabilidade” e “externalidade”. Para a captação superficial, predominaram as categorias “externalidade”, “técnico” e “acidental”, não sendo identificados perigos nas categorias “financeiro” e “ambiguidade”.

Figura 12 – Distribuição relativa por categoria dos perigos identificados considerados aplicáveis A) ao SAA como um todo e à captação; B) apenas ao SAA como um todo; C) apenas à captação.



Fonte: A autora (2022).

5.2 IDENTIFICAÇÃO *IN LOCO* DOS PERIGOS E EVENTOS PERIGOSOS

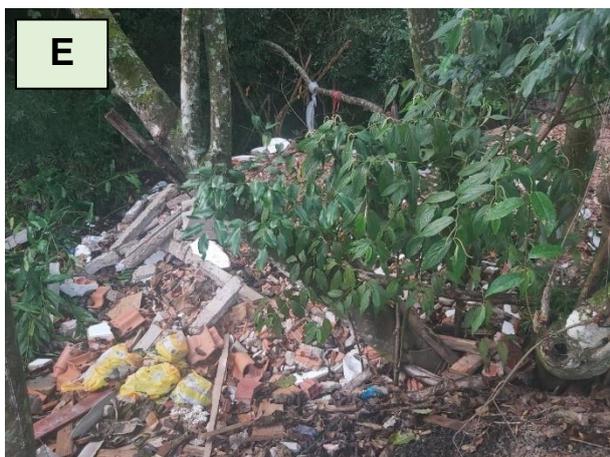
Os subitens a seguir apresentam os perigos identificados em cada um dos pontos de monitoramento de qualidade da água bruta, durante o período de realização desta pesquisa.

5.2.1 Visita à sub-bacia do Rio Monjolinho

Na sub-bacia do Rio Monjolinho são realizadas coletas para monitorar a qualidade da água bruta em sete pontos e na própria captação (Quadro 1). Há três pontos em que a coleta é realizada do próprio Rio Monjolinho, denominados como Monjolinho 1, Monjolinho 2 e Monjolinho 3. Os dois primeiros possuem características mais urbanas, com a existência de bairros residenciais a montante. O mesmo ocorre nos pontos de coleta no Córrego São Rafael e Córrego do Espraiado. Já no ponto Monjolinho 3 a área a montante é predominantemente rural, assim como nos pontos Córrego do Belvedere e Córrego Ponte de Tábua. Essa característica pode contribuir para um maior carreamento de fertilizantes e agrotóxicos para os mananciais.

Durante a realização das visitas técnicas, o perigo mais comumente observado foi a presença de resíduos sólidos próximo aos mananciais, com acúmulo de lixo - inclusive resíduos volumosos e da construção civil, lançamento de carcaças de animais e a presença de excrementos de animais. Verificou-se também a existência de ocupações irregulares/assentamento informal próximo ao ponto Monjolinho 3 (Figura 13).

Figura 13 – A) Presença de resíduos e carcaças de animais no ponto Monjolinho 1 B) Presença de animais próximo ao curso hídrico no ponto Monjolinho 2 C) Acúmulo de resíduos próximo ao curso hídrico no ponto Monjolinho 2 D) Acúmulo de resíduos e assentamento informal próximo ao ponto Monjolinho 3 E) Acúmulo de resíduos próximos ao Córrego Ponte de Tábua F) Excrementos animais nas margens do Córrego Ponte de Tábua.



Fonte: A autora (2022).

Também foi observado, em mais de um ponto, o perigo relacionado a intersecção com o sistema de esgotamento sanitário (SES) e de drenagem do município (Figura 14). No Córrego Ponte de Tábua há um Poço de Visita (PV) do SES e também a contribuição de galerias de água pluviais. No Córrego do Belvedere há um PV do SES que foi desativado pelo SAAE em 2021 devido a problemas com o extravasamento deste PV e a contaminação da água do córrego. Durante o ano de 2020, houve problemas com o vazamento deste PV e a contaminação da água do córrego, tendo sido realizadas obras para desativação do PV pelo SAAE no ano de 2021. No Córrego São Rafael observou-se a existência de uma tubulação de captação de água. Contudo, verifica-se que a tubulação não pertence ao SAA de São Carlos, sendo, portanto, particular.

Figura 14 – A) Poço de visita do sistema de esgotamento sanitário e acúmulo de resíduos próximo ao Córrego Ponte de Tábua B) Captação de água particular no Córrego São Rafael C) Ponto onde localizava-se o PV próximo ao Córrego do Belvedere.



Fonte: A autora (2022).

Outro perigo identificado foi a existência, nas proximidades do ponto Monjolinho 2, de uma empresa realizando retirada de solo para fazer terraplenagem (Figura 15).

Uma hipótese, que precisa ser confirmada, é que o assoreamento da represa verificado no ponto Monjolinho 3 seja decorrente da atividade desta empresa.

Figura 15 – A) Retirada de terra para terraplenagem próximo ao ponto Monjolinho 2 B) Assoreamento no ponto Monjolinho 3.



Fonte: A autora (2022).

Os perigos verificados no ponto de coleta do Córrego do Espriado possuem características diversas dos anteriores, visto que este ponto está localizado dentro do Parque Ecológico de São Carlos Dr. Antônio Teixeira Vianna (Figura 16). A água para dessedentação dos animais e uso do parque é retirada deste ponto e segue para a cloração também no local para ser distribuída. Embora a área seja de acesso mais restrito, tem proximidade com um local de grande circulação de público. Em área próxima ocorrem também eventos recreativos, como acampamentos de escoteiros, por exemplo.

Destaca-se que em nenhum dos pontos de monitoramento da sub-bacia do Rio Monjolinho há sinalização de segurança indicando que o manancial é utilizado para o abastecimento do município. Apenas no ponto Córrego do Espriado há cercamento do local.

Figura 16 – A) Ponto de coleta no Córrego do Espriado, dentro do Parque Ecológico B) Local para a realização de atividades recreativas/acampamentos próximo ao Córrego do Espriado, no Parque Ecológico.



Fonte: A autora (2022).

5.2.2 Visita à captação do Espriado

Na visita técnica à Captação do Espriado, verificou-se a boa condição geral da instalação. Há uma predominância de características urbanas na área a montante da captação. A área da captação é cercada e sinalizada, impedindo o acesso de pessoas não autorizadas. As condições de manutenção e limpeza eram satisfatórias, embora tenha-se observado a presença de vegetação junto ao maquinário e a presença de animais na captação (Figura 17). Um importante aspecto observado foi a inadequada situação de manutenção do gradeamento anterior à captação, no Córrego do Espriado, com problemas de posicionamento, permitindo a passagem da água pela lateral. Destaca-se também a existência de um PV e um interceptor do SES, em que houve episódios de vazamento no ano de 2020, com posterior realização de obras em 2021 e 2022 para corrigir o problema e impedir que haja a contaminação cruzada na área.

Figura 17 – A) Presença de vegetação na casa de Bombas da captação do Espraiado B) Gradeamento à entrada da Captação do Espraiado – Córrego do Espraiado C) Presença de animais no reservatório de acumulação da captação do Espraiado – (grifo nosso).



Fonte: A autora (2022).

Figura 18 – PV dentro da área da captação do Espraiado A) antes da finalização das obras pelo SAAE B) após a finalização das obras pelo SAAE.



Fonte: A autora (2022).

5.2.3 Visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão

Na sub-bacia do Ribeirão do Feijão também há coleta para o monitoramento da qualidade da água bruta em sete pontos e na própria captação. Todos os pontos possuem áreas a montante com características predominantemente rurais. Contudo, os pontos do Córrego do Morungaba, Córrego dos Macacos e Córrego do Pires estão localizados próximos a rodovia Washington Luiz (SP-310). A proximidade não só com o tráfego, mas também com os pontos de gasolina instalados na região faz com que estes pontos estejam também expostos a perigos com características mais comuns às áreas urbanas.

Todos os pontos de coleta que se localizam próximo à Rodovia Washington Luiz não possuem sinalização ou identificação indicando que a água é utilizada para o abastecimento do município, embora, em anos anteriores, o SAAE já tenha registrado a ocorrência de acidentes com derramamento de óleo e/ou carga nestes pontos. Em todos eles verificaram-se também a presença de resíduos na água ou nas margens do manancial (Figura 19). O ponto do Córrego do Pires recebe efluente tratado de um posto de gasolina próximo, em que há parada de ônibus de passeio e caminhões. Durante períodos de alta demanda no posto, já foi registrada a ocorrência de problemas com a quantidade e qualidade dos efluentes dispostos. O tratamento dos efluentes é realizado pelo próprio empreendimento.

Figura 19 - A) Acúmulo de sedimentos e encobrimentos pela vegetação no Córrego dos Macacos B) Resíduos e encobrimento do manancial pela vegetação no Córrego do Pires.



Fonte: A autora (2022).

No Córrego do Morungaba verificou-se a presença de um resíduo não identificado, com aparência oleosa, sobre a água (Figura 20). A montante do ponto localizam-se diversos motéis, que utilizam fossa séptica para a destinação do esgoto.

Figura 20 - Poluição da água com resíduo não identificado no ponto de coleta para monitoramento de água bruta no Córrego do Morungaba.



Fonte: A autora (2022).

Os pontos de coleta localizados no Córrego São José, Córrego Laranja Azeda 1, Córrego Laranja Azeda 2 e Ribeirão do Feijão apresentavam situação satisfatória da conservação da mata ciliar no período em que foi realizada a visita técnica (Figura 21). As áreas em que estes pontos estão localizados possuem proximidade com sítios, área agrícola, pecuária, silvicultura e ponto de passagem de tratores. No Córrego São José há proximidade com um estaleiro, cuja água de lavagem costuma ser lançada neste corpo hídrico.

Figura 21 – Ponto de coleta de água bruta para monitoramento no: A) Córrego São José B) Córrego Laranja Azeda 1 C) Córrego Laranja Azeda 2.



Fonte: A autora (2022).

Destaca-se a existência de sinalização de segurança no Córrego Laranja Azeda 2 e no Ribeirão do Feijão indicando a contribuição do manancial para o abastecimento do município (Figura 22).

Figura 22 - Sinalização de segurança no ponto: A) Córrego Laranja Azeda 2 B) Ribeirão do Feijão.



Fonte: A autora (2022).

No Ribeirão do Feijão verificou-se a existência de um perigo não identificado na literatura, decorrente da existência de um gasoduto enterrado que passa por baixo do manancial do Ribeirão Feijão, no ponto em que é realizada a coleta de água bruta (Figura 23). Na área há sinalização de segurança informando quanto a presença do gasoduto.

Figura 23 - Gasoduto enterrado por baixo do Ribeirão do Feijão



Fonte: A autora (2022).

5.2.4 Visita à captação do Ribeirão do Feijão

Assim como na Captação do Espriado, foi constatada boa condição geral das instalações da captação do Ribeirão do Feijão. Há uma predominância de características rurais na área a montante da captação. Há cercamento e sinalização de segurança (Figura 24) para impedir o acesso de pessoas não autorizadas. Da mesma forma, as condições de manutenção e limpeza eram satisfatórias, também com a presença de vegetação junto ao maquinário (Figura 25).

Figura 24 - Sinalização de segurança e cercamento na Captação do Feijão.



Fonte: A autora (2022).

Figura 25 - Presença de vegetação junto ao maquinário na Captação do Feijão.



Fonte: A autora (2022).

5.3 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

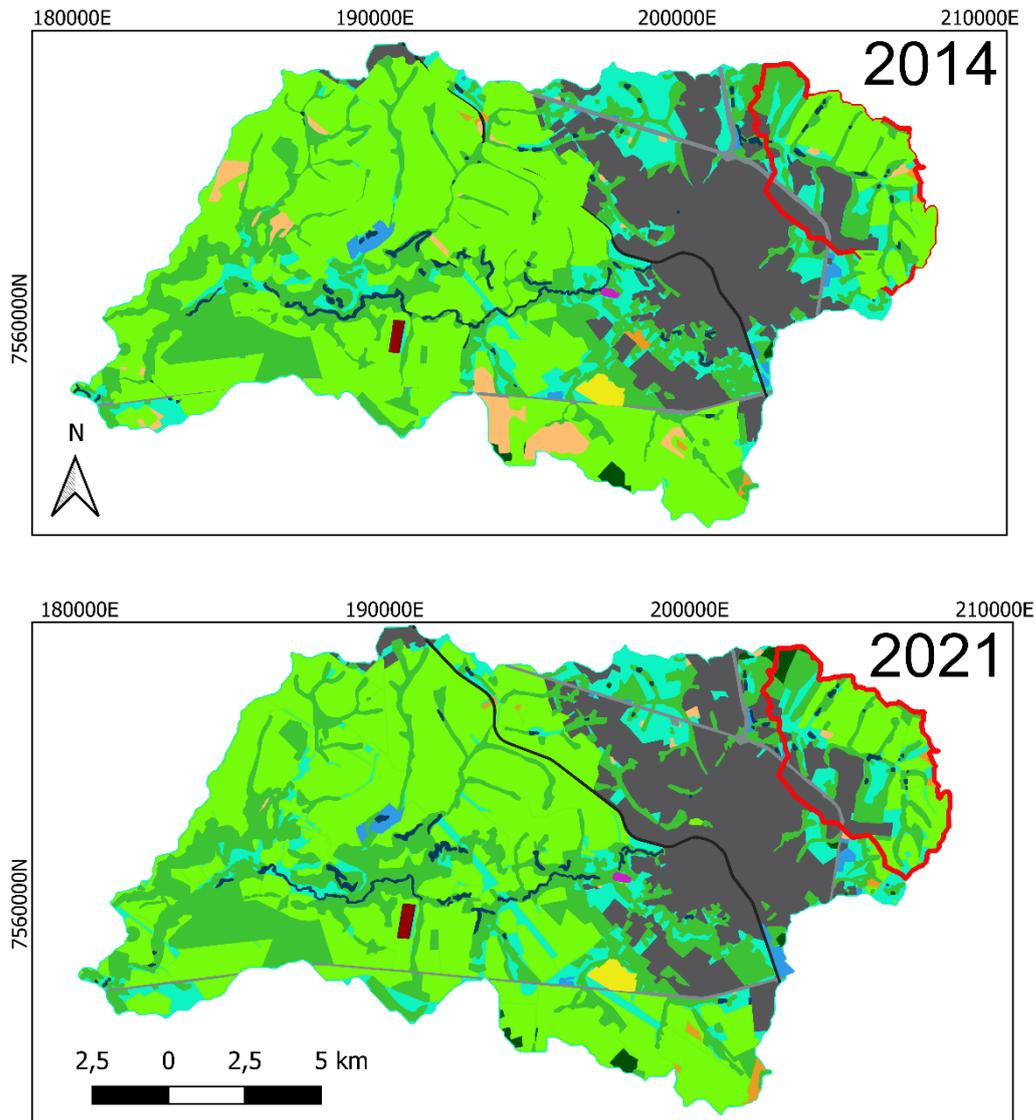
Na sub-bacia do Rio Monjolinho (Figura 26), a classificação do uso e ocupação do solo possibilitou a identificação de catorze classes: águas continentais; área agrícola; área campestre; área industrial; área urbana; aterro sanitário; estação de tratamento de efluentes (ETE); ferrovia; mineração; pastagem e vegetação rasteira; rodovia e postos de combustível; silvicultura; solo exposto; e vegetação natural. Observou-se o predomínio de área agrícola (39,7% em 2014 e 41,7% em 2021), vegetação natural (21% em 2014 e 20,7% em 2021), área urbana (17% em 2014 e 18,6% em 2021) e pastagem e vegetação rasteira (16,5% em 2014 e 15,2% em 2021). As classes que apresentaram maior crescimento percentual no período analisado foram a área agrícola (aumento relativo de 2%) e área urbana (aumento relativo de 1,6%) (Tabela 1). Já para as categorias pastagem e vegetação rasteira e também solo exposto, verificou-se a diminuição percentual mais expressiva na comparação entre os dois anos (decréscimos relativos de 1,4% e 2,3%, respectivamente).

Considerando apenas a área de contribuição para a captação do Espriado, as classes predominantes se mantiveram as mesmas, com percentuais semelhantes aos

da sub-bacia como um todo. Contudo, verificou-se uma maior expressividade de pastagem e vegetação rasteira (24,2% em 2014 e 25,4% em 2021). Quanto à variação temporal no período analisado para a área de contribuição, destacaram-se o crescimento da silvicultura (aumento relativo de 2,2%) e a diminuição da vegetação natural (decréscimo relativo de 3,8%) (Tabela 1).

É válido destacar a existência de um aterro sanitário e de uma ETE na área desta sub-bacia, embora ambos estejam localizados à jusante da captação do Espriado.

Figura 26 - Uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Monjolinho para os anos de 2014 e 2021.



Legenda

- | | |
|---|---|
|  Pastagem e vegetação rasteira |  Solo Exposto |
|  Área industrial |  Aterro Sanitário |
|  Águas continentais |  Estação de tratamento de efluentes |
|  Silvicultura |  Área Urbana |
|  Vegetação natural |  Rodovias e postos de combustível |
|  Área Agrícola |  Ferrovias |
|  Área de mineração |  Bacia de contribuição da captação do Espriado |
|  Área campestre (sítios, chácaras) | |

Projeção UTM - Datum Sirgas 2000 - Zona 23 s

Fonte: A autora (2023).

Tabela 1 - Classes de uso e ocupação do solo para a sub-bacia do Rio Monjolinho (bacia total) e para a área de contribuição da captação (bacia de captação), nos anos de 2014 e 2021, com indicação das diferenças relativas (%) entre a ocupação nos dois períodos para cada classe.

Categoria de uso e ocupação do solo	Área (%)				Diferença relativa (%2021 - %2014)	
	2014		2021		Bacia total	Bacia de captação
	Bacia total	Bacia de captação	Bacia total	Bacia de captação		
Águas continentais	0,8	0,7	0,7	0,7	-0,2	-
Área agrícola	39,7	34,3	41,7	36,2	+2,0	+1,9
Área campestre	0,3	0,8	0,4	0,8	+0,1	-
Área industrial	0,6	0,1	0,7	0,1	+0,1	-
Área urbana	16,9	12,8	18,6	12,9	+1,7	-
Aterro sanitário	0,2	0,0	0,2	0,0	-	-
ETE	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
Ferrovia	0,1	0,0	0,1	0,0	-	-
Mineração	0,4	0,0	0,4	0,0	-	-
Pastagem e vegetação rasteira	16,6	25,1	15,2	25,2	-1,5	-
Rodovia e postos de combustível	0,6	0,7	0,6	0,7	-	-
Silvicultura	0,3	0,0	0,6	2,2	+0,3	+2,2
Solo exposto	2,4	0,7	0,1	0,3	-2,3	-0,4
Vegetação natural	21,0	24,7	20,7	21,0	-0,3	-3,8

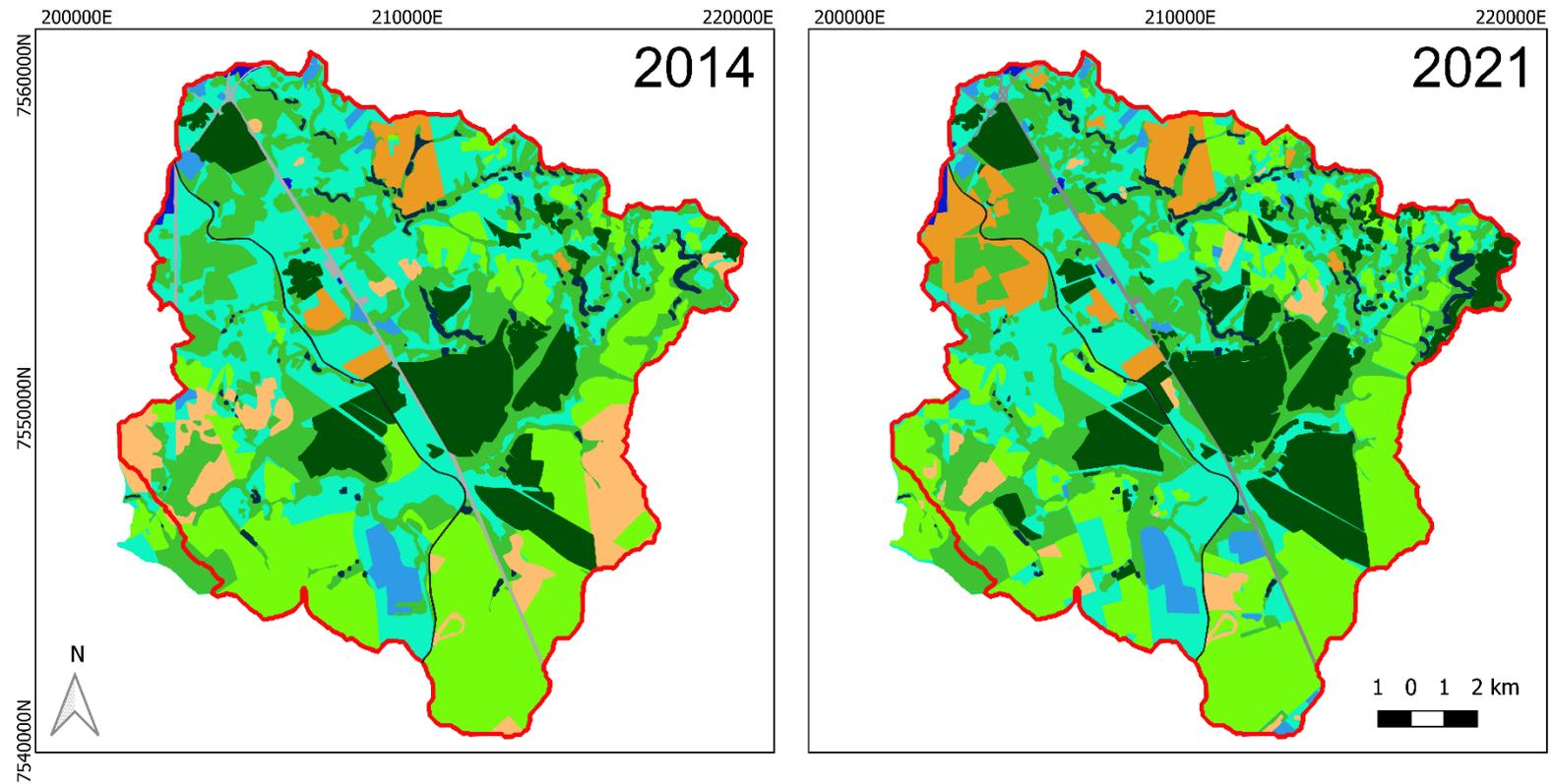
O uso do hífen (-) na coluna de diferença relativa indica que não houve variação na área da categoria de uso e ocupação do solo comparando-se os anos de 2014 e 2021.

Fonte: A autora (2023).

Na sub-bacia do Ribeirão do Feijão (Figura 27), foram identificadas 12 classes e verificou-se o predomínio de pastagem e vegetação rasteira (28,7% em 2014 e 27,8% em 2021), área agrícola (23,2% em 2014 e 23% em 2021), vegetação natural (23,3% em 2014 e 22,3% em 2021) e silvicultura (11,6% em 2014 e 14,7% em 2021). As maiores variações percentual no período analisado corresponderam a classe de solo exposto (decréscimo relativo de 4,3%), silvicultura (aumento relativo de 3,2%) e área campestre (aumento relativo de 2,8%) (Tabela 2).

Como a área de contribuição da captação do Feijão é bastante semelhante à área total da sub-bacia, houve pouca diferença entre as porcentagens e classes identificadas, mantendo-se as classes predominantes. De forma análoga, as variações mais expressivas no período analisado para a área de contribuição também se observam para as categorias solo exposto (decréscimo relativo de 4,2%), silvicultura (aumento relativo de 3,2%) e área campestre (aumento relativo de 1,8%). Destaca-se a existência de áreas de mineração na sub-bacia, dentro da bacia de contribuição da captação (Tabela 2).

Figura 27 - Uso e ocupação do solo na sub-bacia do Ribeirão do Feijão para os anos de 2014 e 2021.



Legenda

 Pastagens e vegetação rasteira	 Silvicultura	 Solo exposto
 Área industrial	 Vegetação natural	 Rodovia e postos de combustível
 Área urbana	 Área agrícola	 Ferrovia
 Águas continentais	 Área campestre (sítios, chácaras)	 Bacia de contribuição da captação do Feijão

Projeção UTM - Datum Sirgas 2000 - Zona 23 s

Fonte: A autora (2023).

Tabela 2 - Classes de uso e ocupação do solo para a sub-bacia do Ribeirão do Feijão (bacia total) e para a área de contribuição da captação (bacia de captação), nos anos de 2014 e 2021, com indicação das diferenças relativas (%) entre a ocupação nos dois períodos para cada classe.

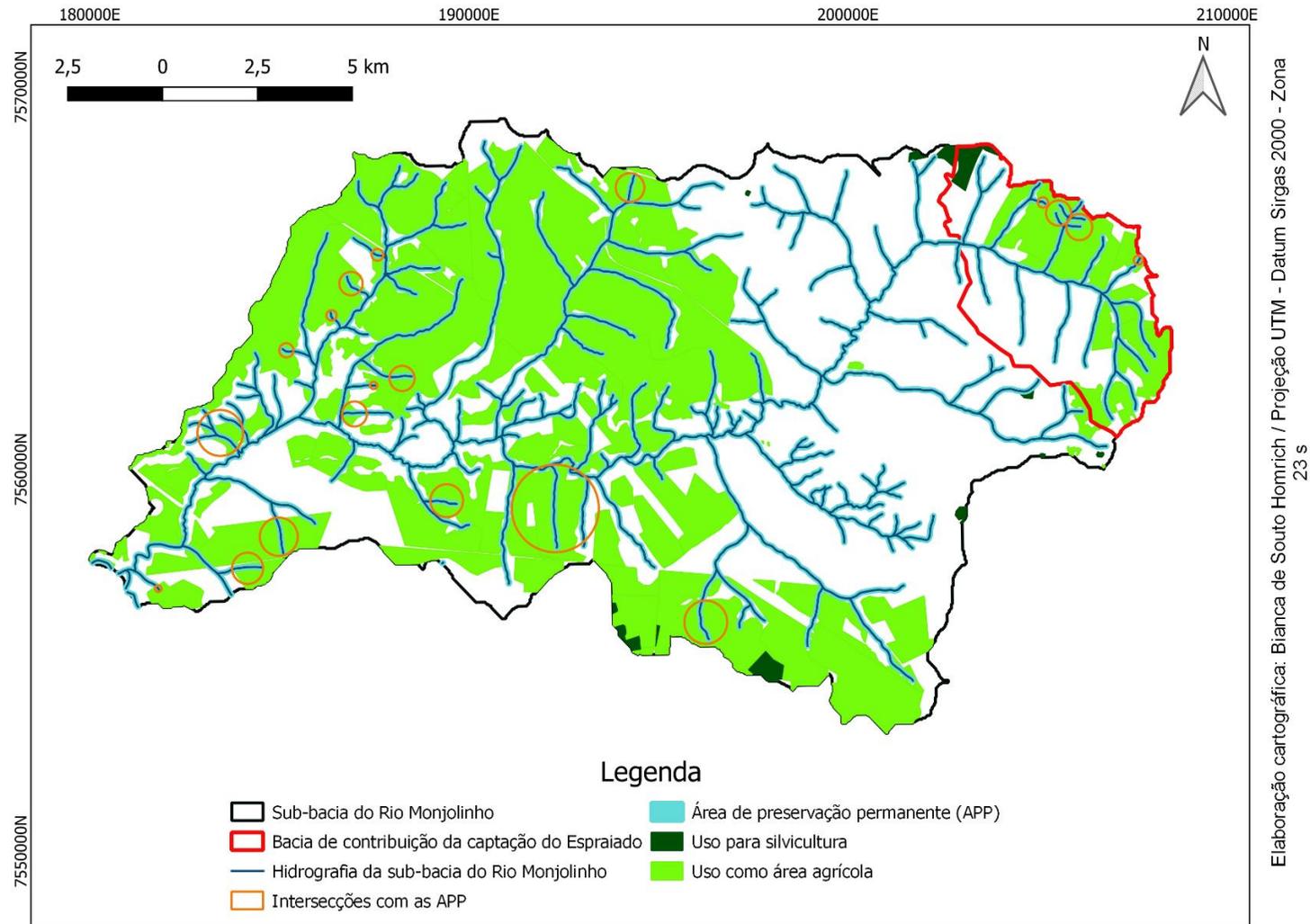
Categoria de uso e ocupação do solo	Área (%)				Diferença relativa (%2021 - %2014)	
	2014		2021		Bacia total	Bacia de captação
	Bacia total	Bacia de captação	Bacia total	Bacia de captação		
Águas continentais	1,3	1,3	1,5	1,6	+0,2	+0,2
Área Agrícola	23,2	23,2	23,0	23,5	-0,2	+0,2
Área Campestre	2,5	2,6	5,3	4,4	+2,8	+1,8
Área industrial	1,7	1,8	2,0	2,0	+0,3	+0,3
Área urbana	0,3	0,4	0,4	0,4	-	-
Ferrovia	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
Mineração	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
Pastagem e vegetação rasteira	28,7	28,8	27,8	28,3	-1,0	-0,6
Rodovia e postos de combustível	0,9	0,9	0,9	0,9	-	-
Silvicultura	11,5	11,7	14,7	15,0	+3,2	+3,2
Solo Exposto	6,3	6,2	2,0	2,1	-4,3	-4,2
Vegetação natural	23,3	22,9	22,3	21,9	-1,0	-1,0
Total	100	100	100	100	-	-

O uso do hífen (-) na coluna de diferença relativa indica que não houve variação na área da categoria de uso e ocupação do solo comparando-se os anos de 2014 e 2021.

Fonte: A autora (2022).

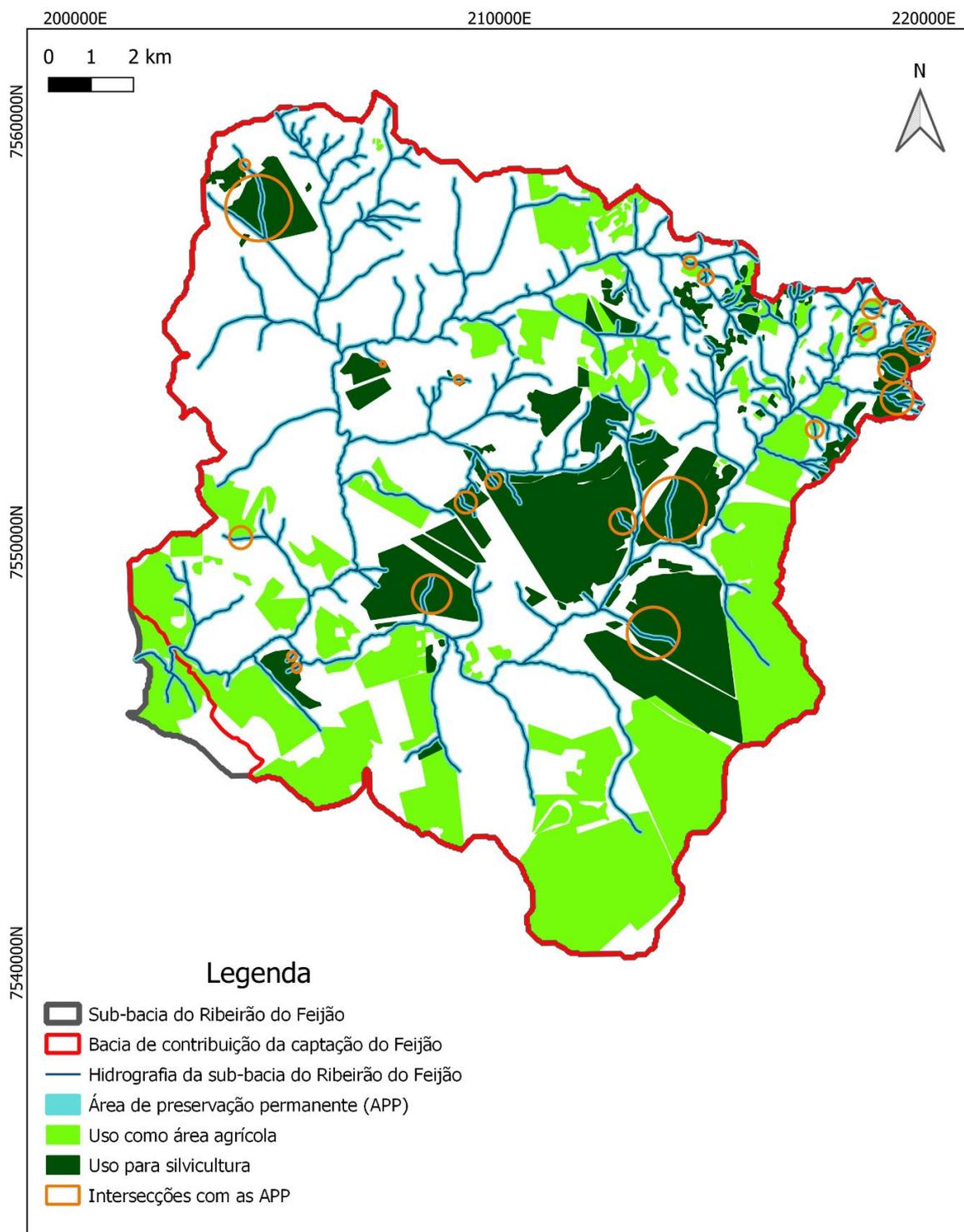
Para a avaliação da frequência do perigo “proximidade de atividades agropecuárias ou de silvicultura ao manancial, com possível aplicação inadequada de fertilizantes e pesticidas e carreamento de resíduos para o manancial”, a ser utilizada na construção da matriz semiquantitativa de risco (seção 5.6), foram verificadas as intersecções entre a hidrografia das sub-bacias, com demarcação das respectivas APP dos mananciais, e o uso e ocupação do solo por áreas agrícolas e silvicultura (Figura 28 e Figura 29).

Figura 28 - Mapa ilustrativo das intersecções entre a rede hidrográfica com suas respectivas Áreas de Preservação Permanente (APP) e as áreas agrícolas e de silvicultura - Sub-bacia do Rio Monjolinho, conforme o uso e ocupação do solo no ano de 2021.



Fonte: A autora (2023).

Figura 29 - Mapa ilustrativo das intersecções entre a rede hidrográfica com suas respectivas Áreas de Preservação Permanente (APP) e as áreas agrícolas e de silvicultura - Sub-bacia do Ribeirão do Feijão, conforme o uso e ocupação do solo no ano de 2021.



Elaboração cartográfica: Bianca de Souto Homrich / Projeção UTM - Datum Sirgas 2000 - Zona 23 s

Fonte: A autora (2023).

Para a sub-bacia do Rio Monjolinho, considerando os dados de 2021, foram identificados 18 pontos em que havia intersecção entre a APP dos mananciais e o uso e ocupação do solo como área agrícola. Destes, três pontos encontravam-se dentro da área da bacia de contribuição da captação do Espraiado. Na sub-bacia do Ribeirão do Feijão, por sua vez, havia 21 pontos de intersecção com a APP dos mananciais, sendo seis entre a APP e áreas agrícolas e 15 entre a APP e o uso e ocupação do solo para silvicultura. Todos esses 21 pontos estavam inseridos na área da bacia de contribuição da captação do Feijão.

A frequência associada aos perigos que demandaram a avaliação do uso e ocupação do solo para atribuição da frequência são descritas no Quadro 6 e foram utilizadas para a avaliação dos riscos (seção 5.6).

Quadro 6 - Avaliação da frequência dos perigos conforme o uso e ocupação do solo no ano de 2021 para as sub-bacias do Rio Monjolinho e do Ribeirão do Feijão. (continua)

Perigo	Sub-bacia do Rio Monjolinho		Sub-bacia do Ribeirão do Feijão	
	Situação verificada na sub-bacia	Frequência associada	Situação verificada na sub-bacia	Situação verificada na sub-bacia
Proximidade de atividades agropecuárias ou de silvicultura ao manancial, com possível aplicação inadequada de fertilizantes e pesticidas e carreamento de resíduos para o manancial	Pontos de intersecção entre as atividades e as APP dos mananciais da área de captação	Quase certa	Pontos de intersecção entre as atividades e as APP dos mananciais da área de captação	Quase certa
Proximidade com atividades portuárias, pesca intensiva e piscicultura, inclusive depósito de latrinas de barcos próximo ao manancial	Ausência na sub-bacia	Rara	Ausência na sub-bacia	Rara

Quadro 6 - Avaliação da frequência dos perigos conforme o uso e ocupação do solo no ano de 2021 para as sub-bacias do Rio Monjolinho e do Ribeirão do Feijão. (conclusão)

Perigo	Sub-bacia do Rio Monjolinho		Sub-bacia do Ribeirão do Feijão	
	Situação verificada na sub-bacia	Frequência associada	Situação verificada na sub-bacia	Situação verificada na sub-bacia
Tráfego, inclusive ferrovias, aeródromos, estradas, áreas de estacionamento e postos de gasolina próximo ao manancial, causando emissões, vazamentos e derramamento de óleo, inclusive devido a ocorrência de acidentes	Presença na sub-bacia	Quase certa	Presença na sub-bacia	Quase certa
Proximidade de atividades de mineração ao manancial	Existência de atividade mineradora na sub-bacia	Moderada	Existência de atividade mineradora na bacia de contribuição da captação	Provável
Carreamento de chorume de aterros sanitários, solos contaminados, depósitos de lixo ou cemitérios	Existência de cemitérios e aterro sanitário na sub-bacia e presença de depósitos de resíduos, inclusive aqueles classificados como perigosos dentro da APP dos mananciais da área de captação	Quase certa	Ausência de aterros e/ou cemitérios, mas, presença de resíduos em mananciais pertencentes à sub-bacia.	Moderada

Fonte: A autora (2023).

5.4 ANÁLISE DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Quanto às análises realizadas mensalmente pelo SAAE, foram analisados 13.553 dados, com uma pequena variação entre o número de amostras avaliadas para cada parâmetro (Tabela 3). As variáveis foram estudadas no período de 2014 a 2021 e referem-se a três pontos de amostragem na sub-bacia do Ribeirão do Feijão (no Ribeirão do Feijão – conforme ponto indicado na Figura 8; captação do Ribeirão do Feijão; e adutora de água bruta que liga a captação do Feijão à ETA Vila Pureza) e quatro pontos de amostragem na sub-bacia do Rio Monjolinho (Monjolinho 1; Monjolinho 3 – conforme pontos indicados na Figura 5; captação do Espriado; e adutora de água bruta que liga a captação do Espriado à ETA Vila Pureza).

Tabela 3 – Distribuição global das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento (classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Os dados foram coletados mensalmente entre os anos de 2014 e 2021.

Variável	Sub-bacia Ribeirão do Feijão		Sub-bacia do Rio Monjolinho	
	Número total de amostras	Não conformidade (%)	Número total de amostras	Não conformidade (%)
Cor verdadeira	1104	4,1	1160	8,4
Nitrogênio amoniacal	1086	0,0	1140	0,0
Oxigênio dissolvido	1106	0,1	1161	12,3
pH	1107	2,1	1161	1,3
Turbidez	1106	0,3	1162	1,9

Fonte: A autora (2022).

Em um panorama geral em relação aos casos em que houve conflito com o enquadramento, verificou-se que as porcentagens de não conformidade foram maiores na sub-bacia do Rio Monjolinho para todas as variáveis, exceto para o pH. A variável nitrogênio amoniacal esteve sempre em conformidade com os limites estabelecidos, para as duas sub-bacias.

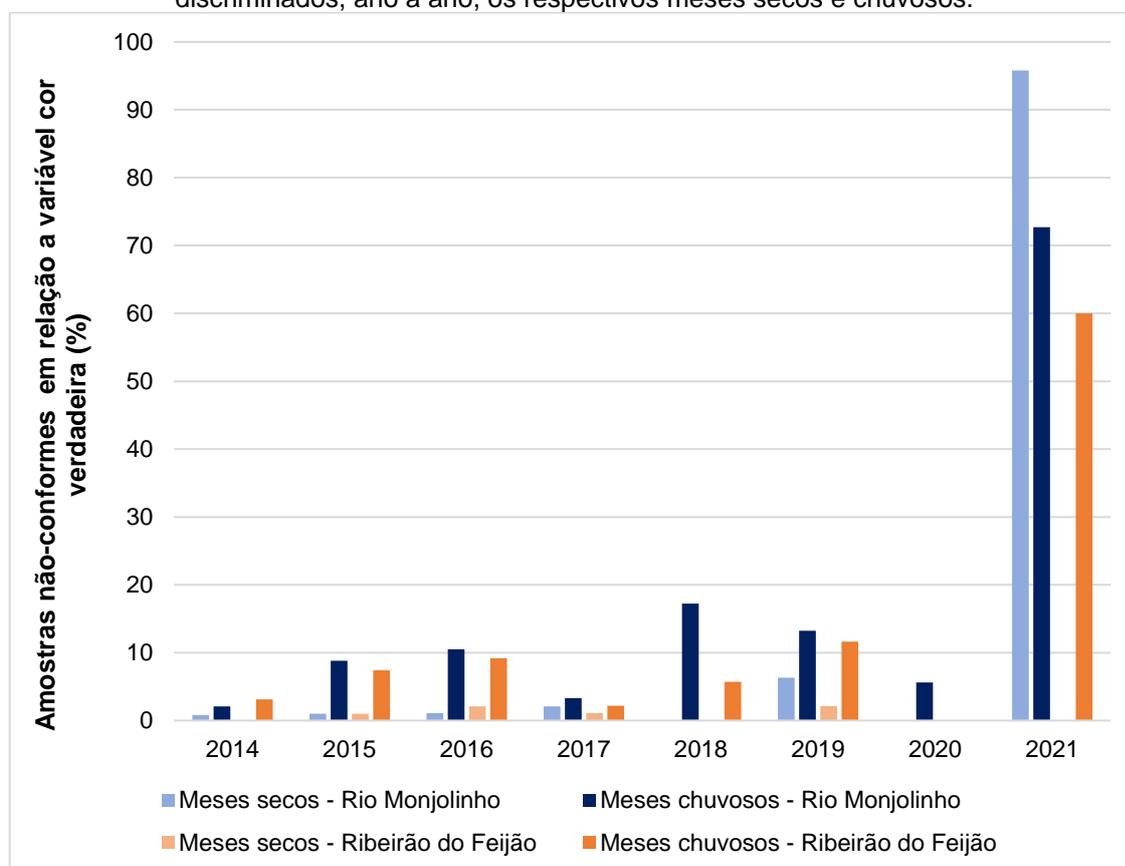
Ao se analisarem as incompatibilidades em escala anual, para a variável cor verdadeira (Figura 30), verificou-se a ocorrência de uma porcentagem de não conformidades inferior a 20% ao longo de quase todo período estudado. O ano de 2021 se mostrou atípico para ambas as bacias, registrando-se o valor de 95,8% de não conformidade para cor verdadeira nas amostras referentes ao semestre seco na

sub-bacia do Rio Monjolinho. Comparando-se as não conformidades dentro de um mesmo ano, houve maiores porcentagens, em geral, nos semestres chuvosos, para ambas as sub-bacias. Comparando-se anualmente as sub-bacias, verifica-se que os maiores percentual de não conformidades ocorreram, durante todo o período estudado, na sub-bacia do Rio Monjolinho.

A cor verdadeira pode estar associada à presença de ferro e manganês (CETESB, 2020), comuns no solo da região estudada (BAIO, 2009), mas também tem origem no lançamento de esgotos domésticos e industriais. Rodríguez (2001) verificou que embora haja parcela de ferro e manganês naturalmente presentes no solo das sub-bacias do Rio Monjolinho e do Ribeirão do Feijão, as maiores concentrações desses metais na água se verificam em pontos de coleta em trechos em que há contato do manancial com a área urbana do município de São Carlos.

No presente estudo, a porcentagem global de não conformidades para cor verdadeira foi inferior a 10% (Tabela 3), mas a grande variação ocorrida em 2021 apresenta uma alteração nos padrões dos mananciais e deve ser acompanhada, pois mesmo quando advinda de fontes naturais, a pré-cloração da água contendo matéria orgânica dissolvida (uma das possíveis origens de elevados valores de cor na água) pode gerar produtos potencialmente cancerígenos, como trihalometanos (VON SPERLING, 1996).

Figura 30 - Comparação anual das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento (classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a variável cor verdadeira. São discriminados, ano a ano, os respectivos meses secos e chuvosos.



Fonte: A autora (2023).

Para a variável OD (Figura 31) a porcentagem de não conformidades variou entre as bacias objeto do presente estudo. Na sub-bacia do Ribeirão do Feijão, apenas o semestre seco de 2017 e o semestre chuvoso de 2018 apresentaram não conformidades, em 29,3% e 1,1% das amostras, respectivamente. Na sub-bacia do Rio Monjolinho, a porcentagem de não conformidades foi sempre maior nos semestres chuvosos em comparação aos secos, atingindo máximo de 81,2% de amostras não conformes no ano de 2021. Baixos valores de OD podem indicar a existência de elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o que sugere contaminações do manancial por esgoto não tratado ou outras fontes de matéria orgânica, como o escoamento superficial de áreas urbanas ou agrícolas.

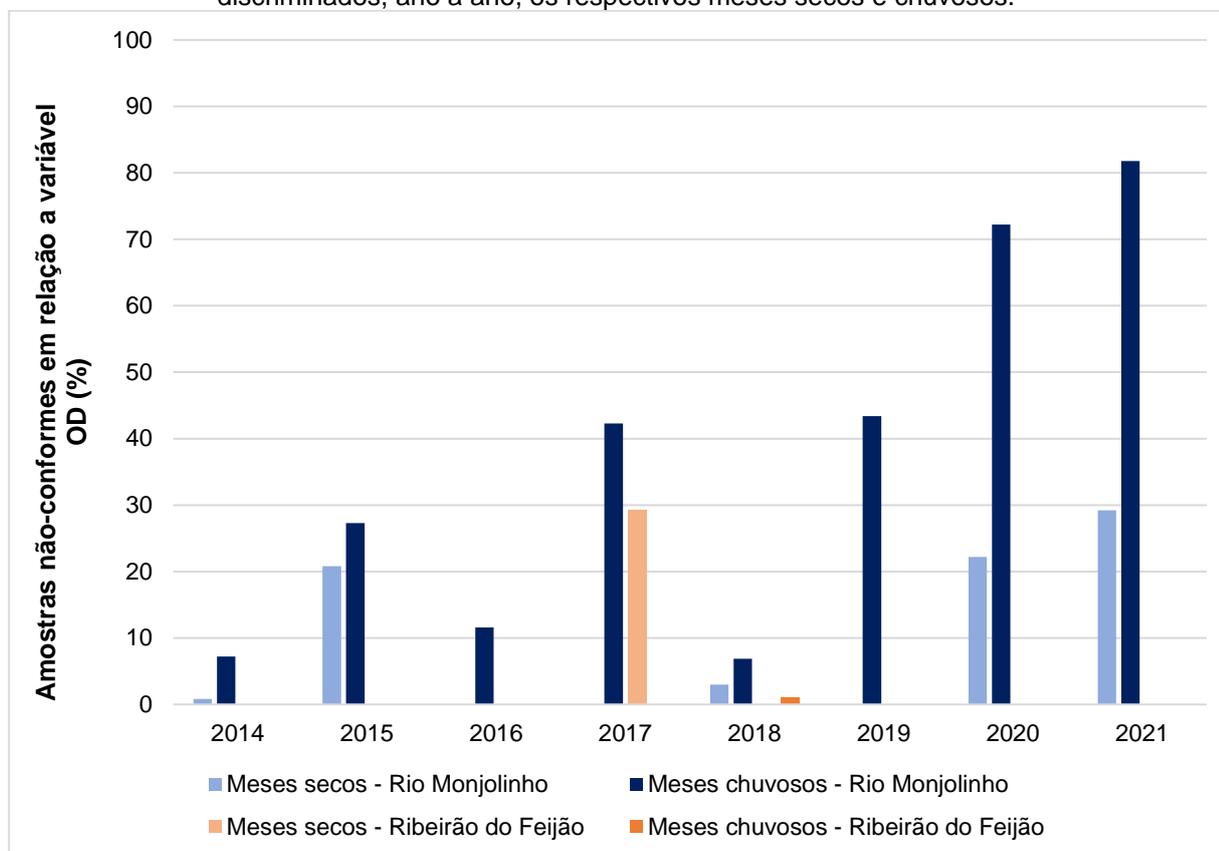
Para a variável turbidez (Figura 32), as porcentagens de não conformidades se mantiveram abaixo de 20% durante todo o período de estudo para as duas sub-bacias. As maiores porcentagens estiveram associadas ao período chuvoso na sub-bacia do

Rio Monjolinho, provavelmente devido ao escoamento das águas pluviais. Uma maior porcentagem de não conformidades nas variáveis OD e turbidez na sub-bacia do Rio Monjolinho era esperada devido a maior área urbana e agrícola na sub-bacia (18,6% e 41,7%, respectivamente, em 2021). Em áreas urbanas, a ocorrência de precipitação tende a causar uma diminuição do OD no corpo hídrico e um aumento dos sólidos suspensos e da turbidez, com a entrada de matéria orgânica e nitrato por meio do escoamento superficial acelerado em decorrência da ausência de cobertura vegetal e aumento da impermeabilização do solo (HOFFMANN; OLIVEIRA, 2018; REGIER *et al.*, 2020).

Em áreas agrícolas, em que as práticas de manejo alteram a estrutura do solo e o tornam mais suscetível aos processos erosivos (HOFFMANN; OLIVEIRA, 2018), observa-se maior aporte de sólidos e maiores valores de turbidez nos mananciais, sobretudo após os eventos de precipitação (SOUZA; GASTALDINI, 2014; TRAM *et al.*, 2022). Assim, as intersecções entre as APP e o uso e ocupação do solo por áreas agrícolas na sub-bacia, verificadas no presente estudo (Figura 28), com retirada da vegetação ripária e exposição do solo, tendem a aumentar a quantidade de partículas carregadas para os mananciais no período chuvoso.

Pela evolução temporal, identificou-se um aumento de não conformidades quanto a turbidez a partir de 2019 na sub-bacia do Rio Monjolinho, o que pode estar relacionado com a atividade de terraplenagem desenvolvida próximo ao manancial, verificada *in loco* durante a visita de campo. Devem-se acompanhar com atenção as alterações no padrão desta variável, visto que elevados níveis de turbidez influenciam na eficiência da clarificação na ETA e, conseqüentemente, na qualidade da água tratada (PÉREZ-VIDAL; ESCOBAR-RIVERA; TORRES-LOZADA, 2020), além de estarem potencialmente relacionados a ocorrência de casos de gastroenterites na população (SETTY *et al.*, 2017) pela interferência no processo de desinfecção da água. Deve-se frisar que estes resultados dizem respeito ao período estudado pela pesquisa. Um estudo com uma série histórica maior poderia apresentar resultados mais consistentes que confirme a hipótese levantada.

Figura 31 - Comparação anual das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento (classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a variável oxigênio dissolvido (OD). São discriminados, ano a ano, os respectivos meses secos e chuvosos.

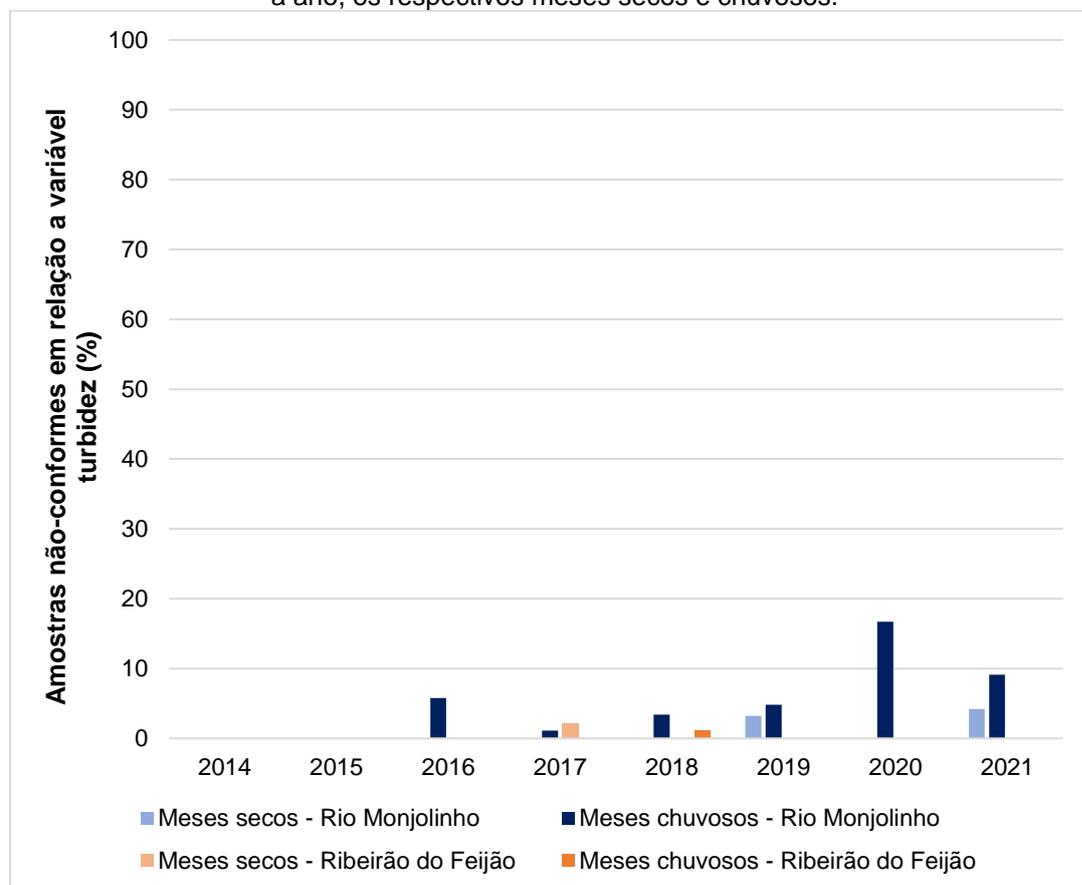


Fonte: A autora (2023).

A ETA Vila Pureza, onde ocorre o tratamento de quase todo o volume de água captado pelo SAAE São Carlos, é do tipo convencional ou ciclo completo. A turbidez da água bruta foi, portanto, utilizada como um dos parâmetros para o dimensionamento das unidades de coagulação, floculação e filtração. Os valores mais adequados de turbidez para a eficiência do tratamento nesta ETA² correspondem à faixa inferior a 500 NTU, valor bastante superior ao limite de 100 NTU estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para os corpos hídricos de classe 2. Dentre os dados analisados por esta pesquisa, o maior pico de turbidez atingido foi de 221 NTU, no ano de 2020 (Rio Monjolinho, semestre chuvoso).

² SAAE São Carlos. Características da ETA Vila Pureza. Destinatário: Bianca de Souto Homrich. [São Carlos], 24 de abr. 2023. 1 mensagem eletrônica.

Figura 32 – Comparação anual das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento (classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a variável turbidez. São discriminados, ano a ano, os respectivos meses secos e chuvosos.



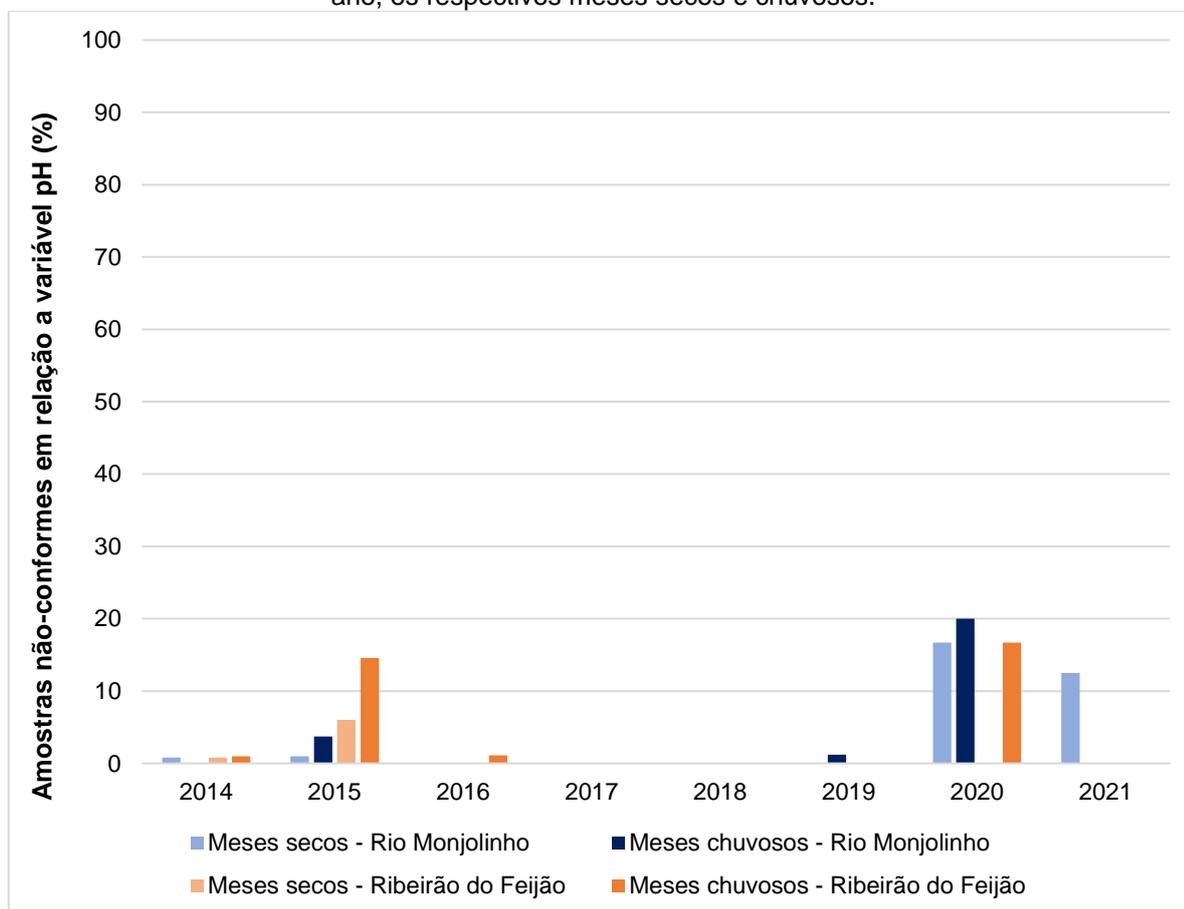
Fonte: A autora (2023).

Quanto a variável pH (Figura 33) não foi observado padrão típico de não conformidades entre os semestres secos e chuvosos para nenhuma das sub-bacias objetos do presente estudo. A partir da análise global (Tabela 3), esta foi a única variável para a qual a sub-bacia do Ribeirão do Feijão apresenta um maior número de não conformidades (2,1%, enquanto a porcentagem é de 1,3% para a sub-bacia do Rio Monjolinho). As análises apontam dois picos nas porcentagens de não conformidades, em 2015, no Ribeirão do Feijão, e em 2020, no Rio Monjolinho, o que indica alterações pontuais.

A ocorrência de atividade fotossintética intensa é um dos fatores que pode contribuir para a alteração natural do pH (HELLER; PÁDUA, 2010), enquanto as variações de origem antrópica ocorrem pelos despejos domésticos ou industriais (VON SPERLING, 1996). Para os mananciais estudados nesta dissertação, é provável que haja limitação da atividade fotossintética nos mananciais pelo regime lótico dos

ambientes. Assim, as variações do pH identificadas provavelmente tem origem antrópica.

Figura 33 - Comparação anual das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão em relação ao seu enquadramento (classe 2) e os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para a variável pH. São discriminados, ano a ano, os respectivos meses secos e chuvosos.



Fonte: A autora (2023).

A importância do pH se dá sobretudo pela sua influência na solubilização ou precipitação das substâncias na água, impactando nas etapas de tratamento na ETA (VON SPERLING, 1996). Na ETA Vila Pureza³, são realizados ensaios de tratabilidade com uso do *Jar test* para identificar a quantidade adequada de coagulante a ser adicionada de acordo com as características da água bruta. Assim, pequenas variações como as identificadas pela análise dos dados de qualidade da água bruta nesta pesquisa não requerem que sejam realizadas correções de pH na água, apenas a adaptação do coagulante conforme os ensaios de tratabilidade.

³ SAAE São Carlos. Características da ETA Vila Pureza. Destinatário: Bianca de Souto Homrich. [São Carlos], 24 de abr. 2023. 1 mensagem eletrônica.

Usualmente, a coagulação nesta ETA é feita pelo mecanismo de varredura, com faixa de pH ótima entre 6,2 e 6,6 para o coagulante utilizado.

Na etapa de desinfecção a diminuição da concentração de organismos patogênicos depende de como a qualidade da água se relacionará com o desinfetante utilizando, variando com o tempo de contato, concentração e o pH (MEDEIROS; DANIEL, 2017). Se utilizado o cloro, em meio ácido, há menor dissociação do ácido hipocloroso em hipoclorito, aumentando a eficiência do processo (CETESB, 2020). Nesse sentido, para águas brutas em que há elevados valores de pH podem ser adotadas outras soluções para a desinfecção, como a ozonização (SILVA; DANIEL, 2015) e o ácido peracético (SOUZA; DANIEL, 2005), que tem baixa dependência do pH. Após o tratamento pode também ser necessário fazer a correção do pH (HELLER; PÁDUA, 2010), pois águas com pH baixo tem potencial corrosivo, enquanto pH elevado pode causar incrustações na rede (VON SPERLING, 1996).

O monitoramento da variável nitrogênio amoniacal deve ser mantido pelo SAAE, ainda que não tenham sido verificadas não conformidades no período estudado por esta pesquisa. Isto porque ambas as sub-bacias apresentam áreas em que são desenvolvidas atividades agropecuárias que podem contribuir para aumento do nitrogênio nos mananciais (GONÇALVES *et al.*, 2005; SILVA; MORAES; SILVA, 2016) pelo escoamento difuso e carreamento de fertilizantes (TWORT; RATNAYAKA; BRANDT, 2000; CETESB, 2020). Elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal na água bruta também influenciam no tratamento na ETA, demandando um maior consumo de coagulantes e alcalinizantes (TWORT; RATNAYAKA; BRANDT, 2000), comprometendo a eficiência de desinfecção e afetando a remoção de ferro e manganês (OMS, 2017).

Para os coliformes termotolerantes (Tabela 4) verificou-se que quase todos os anos pertencentes ao período de estudo desta pesquisa apresentaram um valor superior ao limite definido pela Resolução CONAMA nº 357/05 em mais de 20% das amostras, exceto para a sub-bacia do Ribeirão do Feijão no ano de 2019. Em quase todos os anos, a porcentagem de amostras que excedeu o limite estabelecido pela referida legislação foi maior na sub-bacia do Rio Monjolinho, com exceção do ano de 2020. Destaca-se o ano de 2016, na sub-bacia do Rio Monjolinho, quando todas as amostras analisadas estavam fora do limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005.

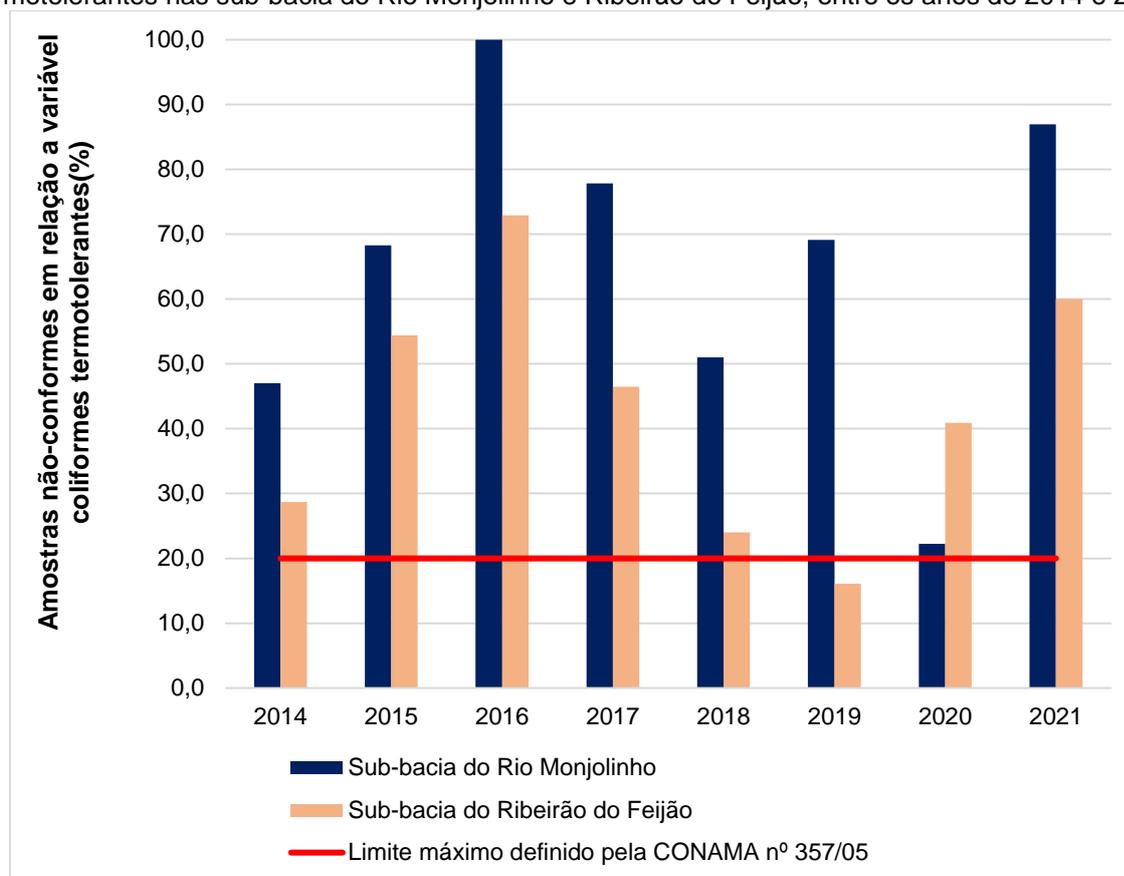
A Figura 34 ilustra a porcentagem das não conformidades em cada sub-bacia para o período de estudo, em que a linha vermelha demarca a porcentagem máxima de amostras acima do limite estabelecido que a legislação considera aceitável.

Tabela 4 - Distribuição das não conformidades (%) observadas nos pontos de amostragem no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão para a variável coliformes termotolerantes, a partir da metodologia definida na Resolução CONAMA nº 357/2005, com valores definidos para corpos hídricos classe 2. Os dados foram coletados mensalmente entre os anos de 2014 e 2021.

Ano	Não-conformidade para coliformes termotolerantes (%)	
	Sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Sub-bacia do Rio Monjolinho
2014	28,7	47,0
2015	54,4	68,3
2016	72,9	100,0
2017	46,5	77,8
2018	24,0	51,0
2019	16,1	69,1
2020	40,9	22,2
2021	60,0	87,0

Fonte: A autora (2023).

Figura 34 - Evolução temporal dos casos de não conformidades (%) no parâmetro coliformes termotolerantes nas sub-bacia do Rio Monjolinho e Ribeirão do Feijão, entre os anos de 2014 e 2021.



Fonte: A autora (2023).

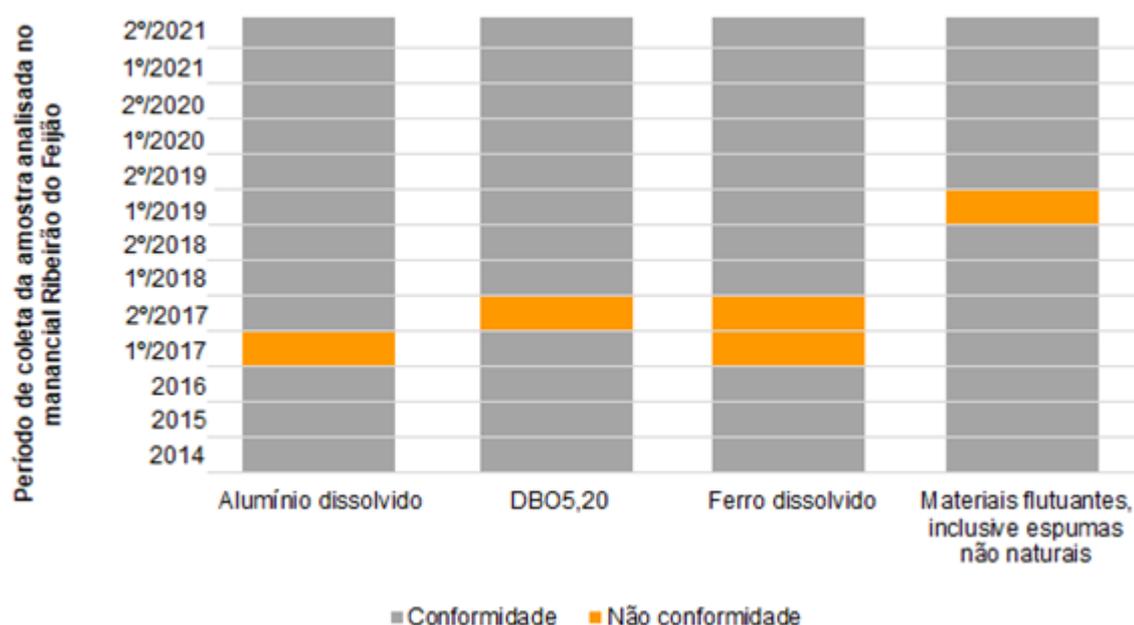
Os coliformes termotolerantes são um grupo de bactérias, no qual está inserida a *E. coli*, que faz parte da microbiota intestinal de animais de sangue quente, como os seres humanos. A origem dos coliformes termotolerantes é quase que exclusivamente fecal. Sua detecção na água evidencia potencial contaminação fecal recente, além de indicar uma possível presença de patógenos, cuja detecção individual é mais complexa (RIOS *et al.*, 2022). A presença de coliformes nas amostras de água de mananciais está relacionada à poluição pontual, como o lançamento de esgotos não tratados, mas também com a poluição difusa, pelo arraste de excretas humanas e animais pela água da chuva. Vasconcellos, Iganci e Ribeiro (2006) verificaram que um elevado número de amostras acima do limite máximo estabelecido quanto aos coliformes termotolerantes denota impactos diretos na qualidade da água de um manancial.

Observa-se que a não conformidade foi verificada em todo o período de estudo, para as duas sub-bacias. Assim, é possível inferir que há prováveis pontos de

contaminação dos dois mananciais com esgoto, seja advindo de atividades de agropecuária ou de origem doméstica, presentes nas duas sub-bacias.

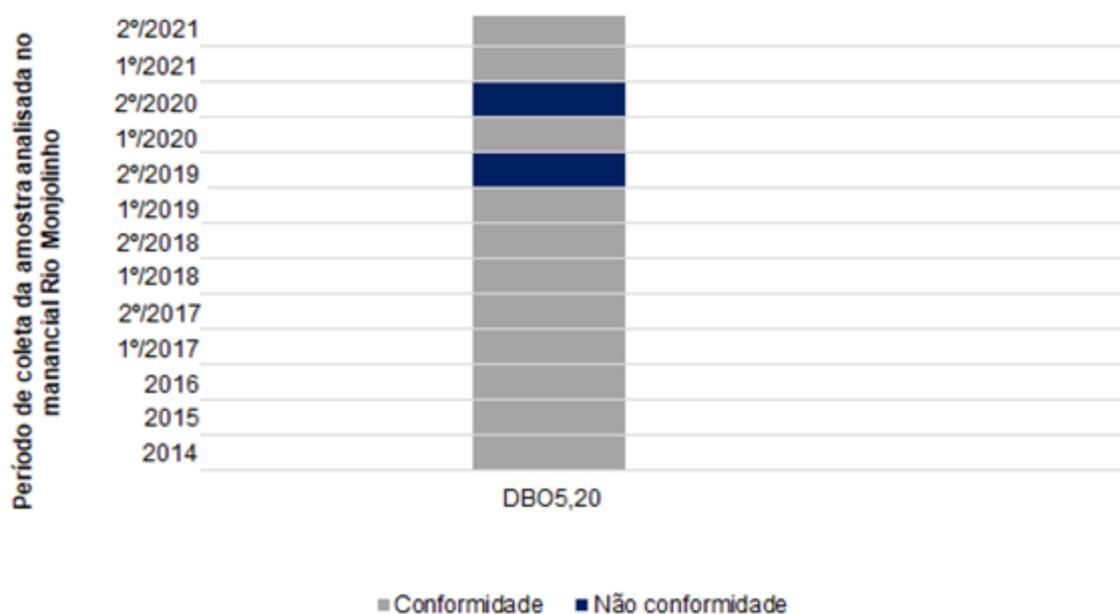
Quanto aos dados referentes a todo o conjunto de variáveis descrito no artigo 15 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (Figura 35 e Figura 36), realizadas em período anual ou semestral (a partir de 2017) pelo SAAE, esta pesquisa analisou 2.600 dados, referentes às amostras de cada sub-bacia para 100 parâmetros, em 13 ocasiões. Para a captação do Ribeirão do Feijão foram identificadas não conformidades para três variáveis: alumínio dissolvido, $DBO_{5,20}$, ferro dissolvido e materiais flutuantes (inclusive espumas não naturais). Para a captação do Rio Monjolinho, verificou-se não conformidades apenas para a $DBO_{5,20}$.

Figura 35 - Distribuição dos anos e respectivos parâmetros em que foram verificadas não conformidades relativas ao rol completo de parâmetros contidos na Resolução CONAMA nº 357/05 para corpos hídricos classe 2, na sub-bacia do Ribeirão do Feijão. Os dados foram coletados anualmente entre os anos de 2014 e 2016 e semestralmente entre os anos de 2017 e 2021.



Fonte: A autora (2023).

Figura 36 - Distribuição dos anos e respectivos parâmetros em que foram verificadas não conformidades relativas ao rol completo de parâmetros contidos na Resolução CONAMA nº 357/05 para corpos hídricos classe 2, na sub-bacia do Rio Monjolinho. Os dados foram coletados anualmente entre os anos de 2014 e 2016 e semestralmente entre os anos de 2017 e 2021.



Fonte: A autora (2023).

A identificação de não conformidades em variáveis que não são alvo das análises mensais realizadas pelo SAAE, como o alumínio dissolvido, o ferro dissolvido e os materiais flutuantes, demonstram a importância deste acompanhamento semestral. Elevados teores de ferro estão relacionados com a formação geológica das sub-bacias do Rio Monjolinho (BAIO, 2009) e do Ribeirão do Feijão (RODRÍGUEZ, 2001), e o aumento de suas concentrações na água pode ser acarretado pela erosão das margens dos mananciais (CETESB, 2021).

Os dados de qualidade da água analisados nesta pesquisa estiveram em consonância com o identificado na avaliação do uso e ocupação do solo nas duas sub-bacias. Esta correlação não ocorre necessariamente de forma direta, visto que os mananciais não são isolados do meio e fatores externos às sub-bacias podem intervir na qualidade da água.

O número de não conformidades na sub-bacia do Rio Monjolinho, mais fortemente urbanizada, foi superior ao identificado para a sub-bacia do Ribeirão do Feijão em quase todos os anos do período do estudo. Estudos realizados em outras sub-bacias brasileira identificaram que as áreas urbanas e agrícolas são as principais fontes de contaminação das águas superficiais, tanto pela entrada de matéria orgânica e de nutrientes no corpo hídrico pelo lançamento de esgoto doméstico sem tratamento

(SOUSA *et al.*, 2022) quanto pelo carreamento de fertilizantes (MENEZES *et al.*, 2016) e de sólidos devido a erosão (SOUZA; GASTALDINI, 2014).

Assim, a partir da análise combinada da qualidade da água e dos usos do solo nas sub-bacias do Ribeirão do Feijão e do Rio Monjolinho, verificou-se que as atividades antrópicas desenvolvidas na área estavam possivelmente contribuindo para uma degradação ambiental dos mananciais em questão. Outro aspecto relevante é o reforço da diferenciação entre as duas sub-bacias, pelas análises realizadas semestralmente e mensalmente. Assim como nos mapas de uso e ocupação das bacias, verificou-se um maior número de variáveis com não conformidades no Rio Monjolinho, bem como a manutenção destas ao longo dos anos de estudo, denotando uma maior degradação ambiental desta sub-bacia.

5.5 PERIGOS DE DIFÍCIL MENSURAÇÃO

Os estudos obtidos relacionados aos perigos considerados de difícil mensuração são discutidos nas subseções seguintes, contemplando o máximo possível de informações pertinentes ao escopo de cada perigo.

Embora a mensuração indireta destes perigos tenha sido considerada uma alternativa à inviabilidade da mensuração direta no contexto do objeto de estudo, ressalva-se que há um elevado nível de incerteza associado a esta avaliação e aos próprios perigos.

Estes perigos demonstram a existência de lacunas no método utilizado para a avaliação de riscos, visto que a condução de estudos adicionais para atingir o nível adequado de certeza corresponderia a uma demanda de tempo e recursos que pode não ser compatível com a elaboração de um PSA, sobretudo em municípios de médio e pequeno porte. Assim, haveria sempre um nível de indeterminação quanto à ocorrência destes perigos, que possuem características mais globais e subjetivas.

Optou-se por manter a discussão que contempla a caracterização destes perigos na área de estudo, para que sejam observados enquanto possibilidades de risco existentes na região. Mas, respeitando o nível de incerteza, estes perigos foram retirados da matriz semiquantitativa, visando evitar uma avaliação imprecisa em que os riscos associados a eles fossem super ou subestimados.

5.5.1 Conflitos de uso da terra

Pelegrini (2021) defende que os rios urbanos são alvos de conflito da sociedade com a natureza, devido à alteração do espaço natural. A autora destaca que do desenvolvimento urbano decorre o conflito entre o aumento da demanda de água para o abastecimento e a degradação dos mananciais urbanos. Utilizando o SIG QG/S para fazer uma sobreposição de mapas de uso e ocupação do solo, áreas verdes e áreas de APP, Pelegrini (2021) identificou conflitos de uso e ocupação do solo na APP do Monjolinho que atingem fauna, flora e a população do entorno, como a ocorrência de inundações em dias de chuva intensa, que evidenciam a degradação na parte urbana do Monjolinho.

Oliveira *et al.* (2019b) analisaram as infrações ambientais ocorridas no município de São Carlos entre 2006 e 2016 com o objetivo de identificar e compreender os mecanismos de solução de conflitos e o cumprimento das normativas ambientais. Dos 25 casos formalizados junto ao IBAMA, destacam-se o lançamento de substância oleosa no solo em desacordo com o estabelecido pela legislação e a omissão de inscrição no Cadastro Técnico Federal como atividade potencialmente poluidora e utilizadoras de recursos ambientais. Dos 747 casos formalizados junto à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, destacam-se a emissão de efluente com morte da fauna e incêndios provocados em área de mata ou floresta. Por fim, dos 1147 casos formalizados junto à CETESB, destacam-se 347 categorizados pelos autores como relacionados à poluição, dos quais 20% se enquadraram como poluição hídrica e 170 como poluição do solo. A análise espacial feita pelos autores indicou que a maior parte dos conflitos ocorreu nas áreas urbanas do município, indicando uma maior exposição dos mananciais aos conflitos quando inseridos em tais áreas.

De forma indireta, este perigo foi contemplado dentro da análise de risco desta pesquisa pela análise dos dados de uso e ocupação do solo e pela probabilidade de ocorrência associada os perigos e eventos perigosos para os quais este mapeamento foi aplicado.

5.5.2 Baixa qualidade dos dados que alimentam os sistemas de informação

O principal sistema de informação acerca da qualidade da água de abastecimento é o SISÁGUA, cujo preenchimento é realizado pelo prestador do serviço. O SAAE São Carlos realiza o preenchimento mensal dos dados requisitados por este sistema. Deve-se destacar que os laboratórios do SAAE são acreditados no INMETRO, passando por processo de auditoria e melhoria contínua, o que contribui para que os dados inseridos nos sistemas possuam a qualidade adequada. Contudo, não há indicadores a nível nacional ou local que avaliem especificamente a qualidade dos dados que alimentam o sistema.

O estudo de Oliveira *et al.* (2019a) contempla uma avaliação das características, evolução e aplicabilidade do SISÁGUA em nível nacional. Quanto à qualidade dos dados os autores evidenciam que há treinamento e mecanismos de preenchimento para evitar que o sistema seja abastecido de forma inconsistente. As capacitações são ministradas em âmbito federal, pela Secretaria de Vigilância em Saúde, para os gestores e técnicos das Secretarias de Saúde Estaduais, Municipais e do Distrito Federal, que se tornam multiplicadores seguindo a estrutura hierarquizada do SUS. Visando a minimização das inconsistências no preenchimento, há limitações do próprio sistema, como por exemplo a vedação ao valor da cobertura de abastecimento do município ultrapassar a respectiva população do município e a existência de resultados pré-tabulados para análises mais complexas. Oliveira *et al.* (2019a) destacam ainda que há uma periódica análise do sistema procurando identificar inconsistências nos dados ou ausência de informações, que geram notificação e orientação aos gestores estaduais quando identificadas. O acompanhamento é realizado também por ofícios aos dirigentes de vigilância em saúde ambiental estaduais, reforçando a importância da inserção de dados de forma atualizada e em quantidade suficiente para possibilitar a identificação de vulnerabilidades.

Embora a análise de risco realizada por esta pesquisa contemple perigos e eventos perigosos relacionados a qualidade da água, o aspecto humano de gestão e obtenção dos dados foi desconsiderado na análise, por falta de dados e métricas mais concretas que permitam a avaliação deste perigo de maneira objetiva.

5.5.3 Mudanças nos padrões climáticos (ex. padrões de precipitação e evaporação)

O estudo de Peres e Schenk (2021) indicou que no município de São Carlos o aumento da densidade demográfica e os usos do solo são fatores agravantes da elevação das temperaturas, ampliando regiões de risco a inundações, como no cruzamento do Rio Monjolinho com a linha férrea. Segundo as autoras, o histórico do município contempla a ocorrência de chuvas de grande intensidade. Entretanto, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo indicou um agravamento desses episódios em um relatório publicado em 2015, recomendando a recuperação dos fundos de vale e das áreas verdes com o objetivo de regulação das cheias e mitigação climática (PERES; SCHENK, 2021).

Ferrari (2012) avaliou a mudança climática de curto prazo em São Carlos e outros três municípios vizinhos e verificou uma pequena tendência de aumento da pluviosidade e crescimento da temperatura, consideradas insignificantes pelo autor. Contudo, o autor recomendou o monitoramento das variabilidades e tendências climáticas na região, sobretudo para o planejamento de atividades dependentes dos atributos climáticos e para o planejamento de políticas públicas na área agrícola.

Para a análise de risco desta pesquisa não foi possível considerar este perigo de forma direta. A categorização enquanto “ambiguidade” denota as dificuldades para a sua mensuração, indicando sua difícil previsibilidade a partir de métricas concretas que gerem dados e possibilitem a avaliação objetiva deste perigo.

5.5.4 Alteração no padrão de infecções (aumento da exposição a patógenos devido à migração de cidadãos, pandemias e epidemias)

Não se verificou a existência na literatura de nenhum estudo, até o momento da publicação desta dissertação, que discutisse diretamente a alteração no padrão de infecções no município de São Carlos ou no estado de São Paulo.

Quanto à suscetibilidade a pandemias, Guimarães Junior (2020) avaliou as áreas mais suscetíveis à chegada de pessoas com COVID-19 e as áreas com maior chance de enviar pessoas contaminadas a outros locais com base nos dados do transporte rodoviário intermunicipal do Estado de São Paulo. Nesta avaliação, o município de São Carlos foi classificado como de vulnerabilidade intermediária.

Contudo, seriam necessários estudos adicionais para verificar se esta classificação poderia ser aplicada para a ocorrência de outras pandemias e epidemias.

Zambrano, Imani e Cunha (2022) avaliaram a resiliência organizacional de 14 empresas do setor de abastecimento de água, que atendem a municípios brasileiros. Na avaliação, foram considerados o cenário anterior e o posterior a pandemia de COVID-19, utilizando o Método de Escala de Maturidade de Resiliência *British Standard* (BS 65000:2014). Os autores identificaram que a pandemia de COVID-19 atuou como multiplicadora dos fatores que já afetavam a resiliência dos SAA anteriormente, como a inadimplência. Outro aspecto relevante discutido pelos autores foi a diferença entre a maturidade de empresas estatais e locais, sendo a maturidade destas menores do que a das primeiras. Isto indica que empresas locais potencialmente seriam mais afetadas em decorrência de pandemias. Como o SAAE São Carlos é uma empresa local, os possíveis impactos gerados por eventos inesperados precisam ser mais profundamente estudados, de modo que possam ser criadas respostas e planos de emergência antecipadamente.

Pela ausência de métricas concretas e indicadores que possibilitem a avaliação objetiva deste perigo e suas características, categorizado como “ambiguidade”, este perigo é de difícil mensuração e não foi abarcado indiretamente pela avaliação dos outros perigosos e eventos perigosos, sendo desconsiderado na análise de risco da presente pesquisa.

5.5.5 Gestão inadequada dos recursos hídricos pelos órgãos competentes

A gestão dos recursos hídricos no estado de São Paulo é abordada na literatura, sobretudo, pelo viés da crise hídrica ocorrida em 2014 e 2015 no sistema Cantareira, um caso de desafio na gestão hídrica dentro do contexto das mudanças climáticas. A governança da água possui um contexto político, social, econômico e administrativo, o que requer o equilíbrio do processo da gestão, frente à multiplicidade de atores sociais e interesses dos diferentes segmentos da sociedade (JACOBI; BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2021).

Para Vargas (2019) dois fatores podem ser definidos como geradores de vulnerabilidade gerencial dentro do sistema de gestão de recursos hídricos: o despreparo dos gestores para lidar com as alterações e incertezas do ciclo da água em decorrência das mudanças climáticas; e a resistência dos gestores a adoção de

novas abordagens, mais amplas e flexíveis, para solução de problemas. Jacobi, Buckeridge e Ribeiro (2021) reforçam que, dada a complexidade que envolve a solução para a gestão da água no estado de São Paulo, é necessário repensar a prática do modelo de governança utilizado, pois a gestão precisa ser sistêmica e participativa.

Os SAA dependem diretamente da relação com os órgãos gestores dos recursos hídricos, visto que o uso da água para abastecimento está sujeito às aos aspectos político-institucionais da outorga. A gestão inadequada dos recursos prejudica a gestão participativa da água (VARGAS, 2019) e a transparência entre os atores sociais envolvidos (JACOBI; BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2021).

Este perigo não foi considerado para a análise de risco da presente pesquisa pela falta de indicadores e métricas concretas que possibilitem sua avaliação objetiva. Os perigos e eventos perigosos constantes na análise de risco não abarcam completamente seu contexto, que envolve a atuação dos órgãos do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

5.5.6 Desmatamento em bacias afluentes, elevado grau de deterioração da vegetação ciliar e área de preservação permanente

Em decorrência da ocupação desordenada do solo no município de São Carlos, ocorreu o avanço da ocupação em áreas de mananciais. Como consequência disso, a cobertura vegetal natural remanescente encontra-se fragmentada, inclusive a vegetação ripária (SOUZA, 2019; COSTA *et al.*, 2013). Acerca do Rio Monjolinho, Vivaldini (2021) elencou a implantação de loteamentos e a produção agrícola de monoculturas como os fatores mais relevantes para a ocorrência de desmatamento e consequentemente formação de feições erosivas na respectiva sub-bacia

De forma similar, Souza (2019) trabalhou na identificação das áreas prioritárias à implementação de programas de pagamento por serviços ambientais dentro da sub-bacia do Ribeirão do Feijão e destacou a necessidade de recomposição florestal com o objetivo de diminuir a velocidade do escoamento superficial e evitar processos erosivos, assoreamento, inundações e contaminação das águas superficiais, dada a importância deste manancial na provisão de serviços hidrológicos para o município de São Carlos.

Embora não haja indicadores que contemplem diretamente este perigo, ele é contemplado indiretamente pela análise de uso e ocupação do solo nas sub-bacias, sobretudo pela avaliação da interferência entre os usos do solo e as APP.

5.5.7 Proximidade de atividades comerciais informais e/ou ilegais ao manancial

Durante as visitas técnicas não foi observada a prática de atividades comerciais informais e/ou ilegais próximo aos mananciais e seus afluentes. No entanto, Campanelli (2012) realizou um zoneamento da sub-bacia do Rio Monjolinho e verificou que há proximidade de corpos hídricos inseridos nesta sub-bacia com áreas comerciais. O Córrego do Gregório, por exemplo, está situado em área urbana e predominantemente comercial. Situação similar ocorre com o Córrego Tijuco Preto, também inserido na área urbana do município de São Carlos. Destaca-se que embora o Córrego do Gregório e o Córrego Tijuco Preto pertençam a sub-bacia do Rio Monjolinho, ambos ficam à jusante da captação.

Ainda que não existam indicadores diretos para a avaliação deste perigo, análise de uso e ocupação do solo nas sub-bacias é possível contemplá-lo indiretamente na análise de risco, pela avaliação da proximidade da área urbana com os mananciais.

5.5.8 Deposição atmosférica de produtos químicos tóxicos

Visto que a poluição atmosférica resulta da emissão de gases poluentes ou partículas sólidas nas camadas atmosféricas e a dispersão dos poluentes não obedece às fronteiras territoriais, trata-se de um problema local, mas também transfronteiriço (MALHEIROS, 2014). No município de São Carlos, Oliveira *et al.* (2019b) verificaram em seus estudos a ocorrência de 63 casos de infrações formalizados junto à CETESB que tratavam de poluição atmosférica dentro dos limites municipais.

Malheiros (2014) modelou a situação da dispersão de material particulado na área urbana central do município de São Carlos a partir de dados veiculares. O autor verificou que a verticalização da região dificulta a dispersão dos poluentes emitidos pelos veículos leves e pesados, acarretando uma grande concentração das emissões, prejudicial para a saúde humana, e o equilíbrio do meio ambiente. Destaca-se que

parte da sub-bacia do Rio Monjolinho está inserida na referida região, como o Córrego Tijuco Preto, Córrego do Gregório e Córrego Santa Maria do Leme.

De forma indireta, parte deste perigo é contemplada pela avaliação da proximidade dos mananciais com rodovias e tráfego feita a partir da análise de uso e ocupação do solo. Contudo, não há indicadores e métricas que permitam a avaliação direta da deposição de outros produtos químicos, assim, este perigo é parcialmente desconsiderado na análise de risco desta pesquisa.

5.5.9 Poluição por escoamento difuso de origem urbana

Costa *et al.* (2013) monitoraram a superfície impermeabilizada do município de São Carlos com base em imagens de satélite em um período de 44 anos. Observaram que o crescimento da área urbana do município próximo ao Ribeirão do Feijão, ainda no final do século XX, ocasionou degradação na qualidade da água do manancial. Os autores verificaram que, mesmo com o estabelecimento legal das APREM, em 2006, houve avanços da área urbana sobre a área de proteção do Rio Monjolinho e do Ribeirão do Feijão, sobretudo para a construção de loteamentos, causando declínio na qualidade da água superficial e oferecendo risco ao abastecimento do município.

Zaffani (2012) realizou um diagnóstico das bacias urbanas de São Carlos e aponta que há a degradação da qualidade da água dos rios no município, acarretada pela existência de fontes pontuais de poluição, mas também pela poluição difusa advinda da drenagem das áreas urbanas e rurais. Martins (2017) obteve conclusão semelhante tendo como objeto de estudo a bacia do Córrego do Mineirinho, corpo hídrico localizado à jusante da captação do Espreado, na área urbana do município de São Carlos. A autora ressaltou indícios de comprometimento da qualidade da água do córrego devido a fontes de poluição difusa, mesmo com característica de ocupação do solo próxima ao manancial predominantemente residencial.

De forma indireta, pela análise de uso e ocupação do solo foi possível inserir este perigo na análise de risco desta pesquisa, pela avaliação das áreas urbanas existentes nas sub-bacias estudadas.

5.5.10 Compilação dos perigos de difícil mensuração

A discussão dos itens 5.5.1 a 5.5.9 estão compiladas no Quadro 7, em que constam os perigos considerados de difícil mensuração, as respectivas referências consultadas e a conclusão acerca da sua inserção na análise de risco da presente pesquisa.

Quadro 7 - Compilação dos perigos de difícil mensuração, com indicação de referências consultadas e conclusão quanto a sua mensuração na análise de risco da presente pesquisa, considerando o contexto das captações superficiais do SAA de São Carlos.

Perigo ou evento perigoso	Referências Consultadas	Conclusão
Conflitos de uso da terra	Oliveira <i>et al.</i> (2019b); Pelegrini (2021)	Contemplado de forma indireta pela análise dos dados de uso e ocupação do solo e pela probabilidade de ocorrência associada os perigos e eventos perigosos para os quais este mapeamento foi aplicado.
Baixa qualidade dos dados que alimentam os sistemas de informação	Oliveira <i>et al.</i> (2019a)	Não contemplado de forma direta. O aspecto humano de gestão e obtenção dos dados foi desconsiderado na análise, por falta de dados e métricas mais concretas que permitam a avaliação deste perigo de maneira objetiva.
Mudanças nos padrões climáticos (ex. padrões de precipitação e evaporação)	Ferrari (2012); Peres e Schenk (2021)	Não contemplado de forma direta ou indireta. Desconsiderado para a análise de risco da presente pesquisa pela falta de indicadores e métricas concretas que possibilitem sua avaliação objetiva.
Alteração no padrão de infecções (aumento da exposição a patógenos devido à migração de cidadãos, pandemias e epidemias)	Guimarães Junior (2020); Zambrano, Imani e Cunha (2022)	Não contemplado de forma direta ou indireta. Desconsiderado para a análise de risco da presente pesquisa pela falta de indicadores e métricas concretas que possibilitem sua avaliação objetiva.
Gestão inadequada dos recursos hídricos pelos órgãos competentes	Vargas (2019); Jacobi, Buckeridge e Ribeiro (2021)	Não contemplado de forma direta ou indireta. Desconsiderado para a análise de risco da presente pesquisa pela falta de indicadores e métricas concretas que possibilitem sua avaliação objetiva.
Desmatamento em bacias afluentes, elevado grau de deterioração da vegetação ciliar e área de preservação permanente	Costa <i>et al.</i> (2013); Souza (2019); Vivaldini (2021)	Contemplado de forma indireta pela análise de uso e ocupação do solo nas sub-bacias, sobretudo pela avaliação da interferência entre os usos do solo e as APP.
Proximidade de atividades comerciais informais e/ou ilegais ao manancial	Campanelli (2012)	Contemplado de forma indireta pela análise de uso e ocupação do solo nas sub-bacias, pela avaliação da proximidade da área urbana com os mananciais.
Deposição atmosférica de produtos químicos tóxicos	Malheiros (2014); Oliveira <i>et al.</i> (2019b)	Contemplado de forma indireta pela análise de uso e ocupação do solo nas sub-bacias, pela avaliação da proximidade dos mananciais com rodovias e tráfego.
Poluição por escoamento difuso de origem urbana	Zaffani (2012), Costa <i>et al.</i> (2013); Martins (2017)	Contemplado de forma indireta pela análise de uso e ocupação do solo nas sub-bacias, pela avaliação das áreas urbanas existentes nas sub-bacias estudadas.

5.6 AVALIAÇÃO DOS RISCOS

O Quadro 8 apresenta a matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos. Observou-se a predominância de riscos considerados baixos, o que pode ser considerado um cenário positivo, visto que usualmente os riscos baixos são toleráveis, podem ser controlados por meio de procedimentos de rotina (BRASIL, 2012) e não devem ser considerados prioridades para a intervenção e adoção de medidas de controle (BRAGA, 2015). Entretanto, a avaliação de quais medidas de controle são mais urgentes deve ponderar situações diferentes que tenham a mesma classificação de risco (BEUKEN *et al.*, 2008). Assim, eventos perigosos com pequenos valores atribuídos à frequência, mas severidade muito grave, devem ser alvo de medidas de controle em curto prazo (SORLINI *et al.*, 2017).

Embora a quantidade de riscos considerados muito altos tenha sido de apenas 9,2% para as captações do SAA de São Carlos, estes riscos podem comprometer a saúde da população abastecida pelo sistema (BRAGA, 2015). Assim, seguindo a metodologia de elaboração de um PSA, a resposta aos riscos muito altos deve ser feita de imediato (WHO, 2017; BRASIL, 2012), com o estabelecimento de ações para aqueles riscos em que ainda não tenham sido adotadas nenhum tipo de ação, seja na etapa da captação ou em etapas posteriores.

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espraiado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto).
(continua)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espraiado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Corrupção internamente ao prestador de serviço	1	1	1	Baixo	1	1	1	Baixo
Crença por parte do prestador de serviço de que se deve entregar primeiro e garantir a segurança da água depois	1	3	3	Baixo	1	3	3	Baixo
Priorização pelo prestador de serviço do fornecimento de água em quantidade, deixando a qualidade em segundo plano	1	3	3	Baixo	1	3	3	Baixo
Vandalismo, terrorismo e roubo	1	1	1	Baixo	1	1	1	Baixo
Falta de participação da comunidade na co-gestão do sistema	3	2	6	Médio	3	2	6	Médio

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espreado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espreado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Controle/fiscalização deficiente da conformidade com normas e outros aspectos legais	2	4	8	Médio	2	4	8	Médio
Conflitos militares e interferências políticas	1	1	1	Baixo	1	1	1	Baixo
Sabotagem, contaminação intencional ou ataque cibernético (por exemplo, manipulação de operações)	1	5	5	Baixo	1	5	5	Baixo
Insuficiência de funcionários para realizar a manutenção e operação	1	3	3	Baixo	1	3	3	Baixo
Escassez ou não realização de treinamentos para os funcionários, por parte do prestador de serviço, que resulte em falta de conhecimento específico para a operação e manutenção do sistema, incluindo aspectos de segurança do trabalho	3	2	6	Médio	3	2	6	Médio

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espriado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espriado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Ausência do uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI) pelos operadores, apesar do fornecimento do EPI e realização de treinamento/capacitação prévia pelo prestador do serviço.	1	1	1	Baixo	1	1	1	Baixo
Não conformidade com as diretrizes da concessionária na operação e manutenção do sistema, apesar da realização de treinamento/capacitação prévia pelo prestador do serviço.	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo
Desatualização de dados referentes ao sistema (ex: traçado das redes)	2	1	2	Baixo	2	1	2	Baixo

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espriado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espriado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Uso de normas, leis e documentos técnicos desatualizados na gestão e operação do sistema	2	1	2	Baixo	2	1	2	Baixo
Inexistência de plano de emergência	5	5	25	Muito alto	5	5	25	Muito alto
Tubulações de esgoto e de água muito próximas (contaminação cruzada)	3	3	9	Médio	1	3	3	Baixo
Contaminação devido ao uso de materiais não adequados ou desgaste devido ao uso de materiais não indicados para contato com água	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo
Deficiência na limpeza e manutenção das tubulações, acarretando inclusive vazamento ou ruptura da tubulação devido à corrosão interna e/ou externa	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espriado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espriado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Deficiência na manutenção preventiva e calibração dos equipamentos, incluindo a inexistência de planos de manutenção dos equipamentos	5	1	5	Baixo	5	1	5	Baixo
Inexistência de equipamentos de substituição (ex. bomba reserva)	1	1	1	Baixo	1	1	1	Baixo
Falhas nos alarmes e nos equipamentos do sistema de alerta	5	1	5	Baixo	5	1	5	Baixo
Acesso de pessoas não autorizadas às estruturas componentes do sistema	4	5	20	Muito alto	4	5	20	Muito alto
Desastres naturais (ex. terremotos, tempestades, incêndios) e decorrentes de condições inadequadas de manutenção das instalações	2	2	4	Baixo	1	2	2	Baixo
Poluição da água durante rituais religiosos e práticas culturais	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo
Não realização do monitoramento de vazão	5	2	10	Alto	5	2	10	Alto

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espraiado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espraiado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Erosão, provocada por acúmulo de sedimentos, dragagem ou transporte; assoreamento; deslizamentos de terra; superfície de terra cárstica com dolinas abertas; terremotos	3	2	6	Médio	1	2	2	Baixo
Proximidade de atividades agropecuárias ou de silvicultura ao manancial, com possível aplicação inadequada de fertilizantes e pesticidas e carreamento de resíduos para o manancial	5	4	20	Muito alto	5	4	20	Muito alto
Descarga de águas residuárias de matadouros ou abate de animais próximo ao manancial	3	2	6	Médio	1	2	2	Baixo
Presença de animais, inclusive domésticos, no entorno do manancial	5	2	10	Alto	5	2	10	Alto

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espriado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espriado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Descarte de resíduos sólidos nas proximidades do manancial, causando contaminação direta e/ou através de lixiviação de resíduos humanos ou de animais, inclusive o acúmulo de excrementos.	5	3	15	Alto	5	3	15	Alto
Proximidade de assentamentos humanos de desenvolvimento incompleto/informal ao manancial	4	2	8	Médio	1	2	2	Baixo
Derramamento de substâncias acidental e/ou durante respostas a emergência (como incêndios)	1	5	5	Baixo	1	5	5	Baixo
Inadequação e problemas na operação da rede de esgoto	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo
Presença de carcaças de animais ao redor do manancial	5	2	10	Alto	5	2	10	Alto

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espriado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espriado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Proximidade com atividades portuárias, pesca intensiva e piscicultura, inclusive depósito de latrinas de barcos próximo ao manancial	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo
Carreamento de chorume de aterros sanitários, solos contaminados, depósitos de lixo ou cemitérios	5	5	25	Muito alto	3	5	15	Alto
Disposição de resíduos sólidos perigosos próximo ao manancial	3	4	12	Alto	2	4	8	Médio
Ocorrência de eventos hidráulicos extremos como chuvas torrenciais e inundações, acarretando inclusive a inviabilização temporária na captação de água	3	2	6	Médio	3	2	6	Médio

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espriado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espriado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Atividades de construção com interferência no subsolo (ex. construção de hidrovias, instalações para manuseio ou armazenamento de produtos perigosos, e instalações para trabalhadores da construção)	1	1	1	Baixo	5	1	5	Baixo
Contaminação da água, inclusive em decorrência de acidentes, levando a inviabilização temporária na captação	2	2	4	Baixo	1	2	2	Baixo
Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação ou fazendo com que haja volume insuficiente para abastecimento do sistema	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo
Rachaduras nas estruturas causadas por árvores e raízes	2	2	4	Baixo	2	2	4	Baixo

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espreado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espreado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Baixa capacidade analítica do laboratório do prestador de serviço para monitorar a qualidade da água bruta	1	4	4	Baixo	1	4	4	Baixo
Insuficiência na realização de análises de qualidade da água	1	4	4	Baixo	1	4	4	Baixo
Inexistência de cercamento e sinalização de segurança	5	5	25	Muito alto	5	5	25	Muito alto
Falhas ou rupturas na parte elétrica, nas juntas, nas válvulas e/ou na bomba	2	1	2	Baixo	2	1	2	Baixo
Entrada de água contaminada por meio de rachaduras, orifícios e equipamentos danificados	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo
Tráfego, inclusive ferrovias, aeródromos, estradas, áreas de estacionamento e postos de gasolina próximo ao manancial, causando emissões, vazamentos e derramamento de óleo, inclusive devido a ocorrência de acidentes	5	5	25	Muito alto	5	5	25	Muito alto

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espriado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espriado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Ruptura de barragens, inclusive de rejeitos, causando escoamento extremo e/ou contaminação da água	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo
Contaminação, acidentes ou espalhamento de materiais perigosos durante as atividades recreativas (ex. comícios em massa, instalações esportivas, esportes motorizados, campos de corrida de cavalos, jardim zoológico, acampamentos), ou militares (exercícios de campo e áreas de treinamento)	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo
Obstruções na remoção de sólidos e gradeamento devido ao dimensionamento incorreto, limpeza inadequada, inundações, formação de gelo, proliferação de algas, crescimento de plantas ou vandalismo.	1	2	2	Baixo	1	2	2	Baixo

Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espraiado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (continuação)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espraiado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Aumento do nível de contaminantes e poluentes na água bruta acima da disponibilidade de tecnologias de tratamento da ETA	1	4	4	Baixo	1	4	4	Baixo
Floração de algas ou cianobactérias	1	4	4	Baixo	1	4	4	Baixo
Descarga de resíduos industriais, contendo produtos químico e/ou matéria orgânica, em cursos de água	3	3	9	Médio	3	3	9	Médio
Descarga de águas residuárias domésticas sem tratamento	3	3	9	Médio	3	3	9	Médio
Proximidade de atividades de mineração ao manancial	3	3	9	Médio	5	3	12	Alto
Lavagem de roupas e banho na área de captação	4	2	8	Médio	4	2	8	Médio

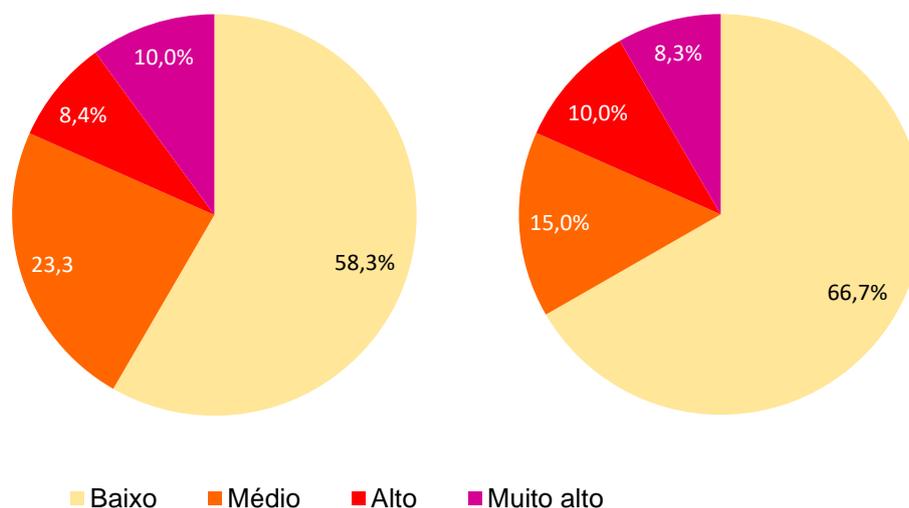
Quadro 8 - Matriz semiquantitativa de riscos das captações superficiais do SAA de São Carlos (captação do Espraiado e captação do Feijão), com indicação da probabilidade de ocorrência, severidade da consequência, pontuação do risco e classificação do risco (baixo, médio, alto e muito alto). (conclusão)

Perigo ou evento perigoso	Captação do Espraiado				Captação do Feijão			
	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco	Probabilidade de ocorrência	Severidade da consequência	Pontuação do risco	Classificação do risco
Lançamento de efluentes tratados advindos do sistema público de esgotamento sanitário ou de sistemas particulares no manancial de captação	3	2	6	Médio	3	2	6	Médio
Descarga de águas pluviais contaminadas pela intersecção com o sistema de drenagem	3	2	6	Médio	2	2	4	Baixo
Proximidade de gasoduto subterrâneo ao manancial	1	1	1	Baixo	1	1	1	Baixo

Fonte: A autora (2022).

A classificação dos riscos apresentou diferenças entre as duas captações estudadas. Embora o nível de risco com maior quantidade de perigos associados tenha sido baixo para ambas as sub-bacias, as porcentagens entre as classes variaram (Figura 37). Para a captação do Espraiado houve uma maior distribuição entre as classes de risco, com 58,3% de risco baixo; 23,3% de risco médio; 8,4% de risco alto; e 10,0% de risco muito alto. Para a captação do Feijão houve uma maior concentração na primeira classe, com 66,7% de risco baixo; 15,0% de risco médio; 10,0% de risco alto; e 8,3% de risco muito alto.

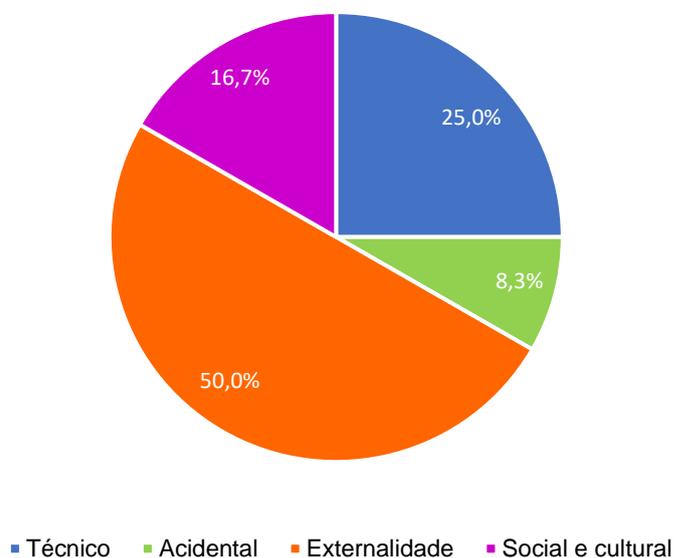
Figura 37 – Distribuição dos perigos nas classes de risco (baixo, médio, alto e muito alto) para as captações do SAAE São Carlos: a) Sub-bacia do Rio Monjolinho; b) Sub-bacia do Ribeirão do Feijão.



Fonte: A autora (2022).

Avaliando a categorização dos riscos de nível alto e muito alto, para ambas as captações, a maior parcela, correspondente a 50% dos perigos com risco alto e muito alto, pertence à categoria “externalidade”. Na sequência, 25% pertencem à categoria “técnico”; 16,7% à categoria “social e cultural” e 8,3% à categoria “acidental” (Figura 38).

Figura 38 – Categorização dos perigos e eventos perigosos classificados como de alto e muito alto risco para as captações do Espriado e do Feijão.



Fonte: A autora (2022).

Os perigos inclusos na categoria “externalidade” fogem da responsabilidade e do escopo de atuação do prestador de serviço. O monitoramento e a gestão dos riscos pertencentes a esta categoria é um desafio para os prestadores, sobretudo quando se trata da etapa de captação, pois os perigos decorrem de impactos causados por agentes externos ao SAA (SCHMIEGE *et al.*, 2020), porém integrantes do contexto da sub-bacia.

Nesse sentido, o PSA pode ser utilizado como ferramenta para promover o envolvimento das outras partes integrantes na adoção de medidas de proteção da qualidade da água. O planejamento e a aplicação de medidas de controle devem envolver as autoridades competentes pela gestão das bacias. É importante também que os diversos atores sejam sensibilizados para uma gestão integrada da água, pressupondo uma responsabilização compartilhada da qualidade da água utilizada para o abastecimento e a prevenção dos riscos (VIEIRA; MORAIS, 2005).

Para isso, a integração entre as ações previstas no PSA e no plano de bacia hidrográfica deve ser uma prioridade (VENTURA *et al.*, 2019). O processo de responsabilização compartilhada deve envolver a implementação de ações socioeducativas, o enfoque preventivo na gestão dos recursos hídricos e o

monitoramento de indicadores e limites críticos para os perigos identificados pelo PSA (BRASIL, 2012).

Além do plano da bacia hidrográfica, as normas regulamentadoras que tratam da proteção da água e do planejamento do uso e ocupação do solo devem ser efetivamente cumpridas a partir de uma rede de fiscalização (VIEIRA; MORAIS, 2005). Para o SAA de São Carlos é necessário que haja rígida fiscalização e cumprimento do Plano Diretor e das diretrizes acerca das APREM. O mapeamento de uso e ocupação do solo feito por esta pesquisa indicou a intersecção entre as APP e áreas agrícolas, prejudicando a função ambiental destas áreas e sua importância na preservação dos recursos hídricos. À fiscalização devem somar-se programas de educação ambiental, que promovam a sensibilização da população sobre o seu papel na proteção da água utilizada para o abastecimento (VIEIRA; MORAIS, 2005).

Os perigos categorizados como “técnicos” se relacionam com a operação do sistema e os equipamentos e estruturas do SAA, diretamente decorrentes da atuação do prestador de serviço, e assim, passíveis de gestão pelo próprio SAAE.

Para o SAA de São Carlos, a não realização do monitoramento de vazão foi um dos perigos considerados de alto risco para ambas as captações. Inserir práticas de verificação e monitoramento no cotidiano do SAA é importante para o controle dos perigos “técnicos”. GUNNARSDÓTTIR *et al.* (2020) recomendam a realização de verificações sistemáticas e periódicas do sistema, com inspeções, avaliações das estruturas de captação *in situ* e a manutenção das análises laboratoriais da qualidade da água bruta.

Adotar uma política de manutenção preventiva é fundamental para criar um mecanismo de proteção contra os perigos da categoria “técnico”, evitando que falhas nos equipamentos ocorram e prejudiquem a segurança hídrica do SAA. A manutenção preventiva possibilita também um maior tempo de resposta para as situações envolvendo os equipamentos e estruturas, evitando a ocorrência de emergências que possam comprometer a qualidade e a frequência do abastecimento.

No caso do SAA de São Carlos, a inexistência de plano de emergência foi considerada como de muito alto risco, para ambas as captações. Riscos muito altos para a ausência de plano de emergência são comuns para SAA, tendo sido verificados por Braga (2015) nos 21 SAA estudados pela autora, no estado de Goiás. A ausência

destes documentos também estava entre os riscos classificados como mais elevados nos sistemas chineses, estudados por Li *et al.* (2020).

A definição de medidas de controle, com indicadores de acompanhamentos bem definidos indicadores (WHO, 2004), pode prevenir, eliminar ou reduzir o risco a um nível aceitável (DAVISON *et al.*, 2005). Como os perigos categorizados como “técnicos” tem relação direta com a operação do SAA, a adoção do princípio das múltiplas barreiras de controle na definição das medidas de controle é essencial para mitigá-los.

Os procedimentos de monitoramento devem ser elaborados e implantados para acompanhar os parâmetros definidos como indicadores para o acompanhamento destes perigos. Nesse sentido, os planos de gestão devem garantir a validação e verificação do PSA e de sua adequabilidade ao SAA.

A capacitação técnica dos gestores do SAA é fundamental (BRAGA, 2015) como uma barreira a ocorrência de perigosos “técnicos”. A capacitação com caráter continuado deve se estender também a todos os envolvidos na operação e manutenção do sistema, para que se mantenham atualizados quanto as diretrizes de qualidade da água e sejam capazes de identificar pontos críticos no controle do SAA. É fundamental que toda a equipe conheça o PSA e esteja alinhado quanto as premissas da metodologia, para que haja atenção ao atendimento dos princípios e a consequente promoção de uma cultura de segurança hídrica dentro do SAA. Manuais de boas práticas (como a higienização, manutenção preventiva e a calibração dos aparelhos) são ferramentas importantes no processo de treinamento da equipe (VIEIRA; MORAIS, 2005).

Ações de sensibilização também se adequam para o tratamento dos perigos categorizados como “social e cultural”. Ações de educação ambiental com a população que é abastecida pelo sistema favorecem um melhor uso do SAA e podem evitar a ocorrência de parte destes perigos.

No caso do SAA de São Carlos, foi observada a ausência de controle de acesso às captações, perigo categorizado como “técnico”. Este perigo se relaciona diretamente com o acesso de pessoas não autorizadas às estruturas componentes do SAA, que foi categorizado como “social e cultural”. Ambos os perigos foram avaliados como de muito alto risco para ambas as captações.

Nesse sentido, a sinalização e o cercamento dos mananciais e das captações é uma das medidas a serem tomadas para diminuir os riscos associados aos dois perigos acima citados. Também é importante que haja um mecanismo de permissão e registro do acesso de pessoas às captações. Assim como observado na presente pesquisa, Braga (2015) também verificou elevado nível de risco associado a fragilidade dos SAA de municípios do estado de Goiás quanto ao acesso de pessoas não autorizadas, o que pode comprometer a qualidade da água fornecida para a população. Tendo como objeto de estudo mananciais em que há captação para sistemas descentralizados de abastecimento da população na zona rural de São Carlos (SP), Côrrea e Ventura (2021) também avaliaram como altos os risco associados a falta de cercamento e identificação dos mananciais.

O único perigo da categoria “acidental” avaliado como de muito alto risco, no caso do SAA de São Carlos, é o relacionado a presença de tráfego nas proximidades dos mananciais de captação e a decorrente possibilidade de derramamento de cargas e óleos nos mananciais. Para o controle deste risco, o aspecto mais urgente é a elaboração de planos de contingência e emergência, que contenham os protocolos de resposta a incidentes e acidentes (VIEIRA; MORAIS, 2005). Não há qualquer tipo de plano elaborado para a contenção de perigos nesta categoria para o SAA de São Carlos, o que faz com que o tempo de resposta a emergência seja longo, aumentando o risco associado a este perigo. Conforme discutido anteriormente, a própria inexistência de planos de emergência é avaliada como um perigo de muito alto risco para ambas as captações.

A elaboração dos planos de emergência deve ser objetiva, de forma que estes documentos estejam focados nas etapas essenciais das ações de resposta a emergências, descrevendo sucintamente como reconhecer uma emergência, como notificar a sua ocorrência e qual a resposta inicial que deve ser dada a esta situação (VIEIRA; MORAIS, 2005). De forma complementar, é necessário que as análises laboratoriais de qualidade da água bruta sejam eficazes em fornecer respostas rápidas em casos de emergência (DAVISON *et al.*, 2005), para que a captação seja interrompida em tempo hábil quando necessário.

Como última etapa da análise, realizou-se a comparação entre as classificações do risco de um mesmo perigo ou evento perigoso nas duas captações (Quadro 9), com foco em classificações contrastantes. Esta comparação evidenciou a

variação dos riscos de acordo com as aptidões e vulnerabilidades de cada sub-bacia. A classificação divergiu para oito perigos ou eventos perigosos analisados. Para sete deles, verificou-se que a captação do Espraiado possui uma classificação do risco mais elevada. Apenas para o perigo “Proximidade de atividades de mineração ao manancial” a classificação de risco foi maior para a captação do Feijão, isto porque a atividade de mineração é desenvolvida dentro da bacia de contribuição desta captação.

Quanto a categorização destes perigos com classificações divergentes nos dois mananciais, apenas o perigo “Tubulações de esgoto e de água muito próximas (contaminação cruzada)” é categorizado como “técnico”, enquanto todos os demais estão categorizados como “externalidades”. Este resultado reforça a hipótese de que a diferença no uso e ocupação do solo nas sub-bacias em que estão localizadas as captações possui influência no risco aos quais as captações estão submetidas. Isso fica claro principalmente pela característica dos perigos listados no Quadro 9, que são predominantemente decorrentes da proximidade com áreas urbanas, tipo de uso e ocupação do solo que possui uma área maior na sub-bacia do Rio Monjolinho.

A divergência na classificação dos riscos também está correlacionada com as diferenças nas análises dos dados de qualidade da água bruta. As não conformidades para a variável turbidez foram maiores na sub-bacia do Monjolinho, assim como há um maior risco de erosão e assoreamento na captação situada nesta bacia. O maior risco de descargas pluviais na captação do Espraiado também pode influir na diferença entre as não conformidades nas sub-bacias, visto que aumento da turbidez é relacionado ao carreamento de partículas pela chuva por Souza e Gastaldini (2014), Hoffmann e Oliveira (2018), Regier *et al.* (2020) e Tram *et al.* (2022).

De forma similar, um maior risco associado a descarga de águas residuárias e a proximidade das tubulações de esgoto na captação do Espraiado pode estar relacionado ao maior número de não conformidades para a variável OD na sub-bacia do Monjolinho. Isto porque a diminuição do OD pode advir de contaminações da matéria orgânica, como discutem Hoffmann e Oliveira (2018) e Regier *et al.* (2020).

Quadro 9 - Perigos ou eventos perigosos que apresentaram classificações discrepantes do risco (baixo, médio, alto ou muito alto risco) para a captação do Espriado e a captação do Feijão.

	Captação do Espriado	Captação do Feijão
Perigo ou evento perigoso	Classificação do risco	
Tubulações de esgoto e de água muito próximas (contaminação cruzada)	Médio	Baixo
Erosão, provocada por acúmulo de sedimentos, dragagem ou transporte; assoreamento; deslizamentos de terra; superfície de terra cárstica com dolinas abertas; terremotos	Médio	Baixo
Descarga de águas residuárias de matadouros ou abate de animais próximo ao manancial	Médio	Baixo
Proximidade de assentamentos humanos de desenvolvimento incompleto/informal ao manancial	Médio	Baixo
Carreamento de chorume de aterros sanitários, solos contaminados, depósitos de lixo ou cemitérios	Muito alto	Alto
Disposição de resíduos sólidos perigosos próximo ao manancial	Alto	Médio
Proximidade de atividades de mineração ao manancial	Médio	Alto
Descarga de águas pluviais contaminadas pela intersecção com o sistema de drenagem	Médio	Baixo

Fonte: A autora (2022).

As divergências reforçam a importância de o SAAE buscar soluções de gestão mais personalizadas e adequadas às particularidades de cada captação. No entanto, embora o SAA de São Carlos capte água em dois mananciais superficiais diferentes, com características diversas em suas sub-bacias, as águas brutas são combinadas na entrada da ETA Vila Pureza. Assim, ainda que apresentem riscos diferentes de contaminação pela análise de risco da etapa de captação, não há como isolar o risco das diferentes captações na água ao longo do sistema. Isto porque, ao combinar águas dos diferentes mananciais na entrada da ETA, a possível degradação da qualidade da água bruta de um dos mananciais diminui a qualidade da água resultante da mistura. Assim, um possível agravamento dos riscos para alguma das captações poderia gerar a necessidade de tratamento da água em duas ETAs, tratando separadamente as águas captadas no Rio Monjolinho e no Ribeirão do Feijão.

6 CONCLUSÃO

Os materiais obtidos como resultado da revisão sistemática, bem como os perigos e eventos perigosos listados a partir destes materiais, denotam que grande parte dos perigos se concentra nas etapas de captação e tratamento. Contudo, a quantidade de estudos com enfoque na captação ainda é limitada, não correspondendo ao número de perigos associados a esta etapa.

A análise dos riscos das captações do Espreado e do Feijão em São Carlos (SP) indicou que as vulnerabilidades e aptidões da sub-bacia na qual estão inseridas influenciam não só na classificação do nível dos riscos aos quais estão expostas, mas também na quantidade mais elevada de riscos classificados como altos e muito altos.

A presente pesquisa evidenciou como as diferenças de uso e ocupação do solo possuem influência na degradação ambiental das bacias hidrográficas. A sub-bacia do Ribeirão do Feijão encontra-se mais preservada em relação à vegetação nativa e possui uma predominância de vegetação rasteira e pastagem, áreas agrícolas, vegetação natural e silvicultura. Houve uma menor quantidade de riscos considerados muito altos na captação localizada nesta sub-bacia, assim como um menor número de não conformidades quanto aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 nas análises de qualidade da água bruta do respectivo manancial. Por sua vez, na sub-bacia do Rio Monjolinho, que está submetida à maior influência de áreas agrícolas e área urbana, houve um maior número de não conformidades nas análises de qualidade da água bruta do manancial. Nesta sub-bacia, houve uma menor quantidade de riscos classificados como baixos. De forma comparativa, verificou-se que para os perigos em que havia divergência na classificação dos riscos entre as duas sub-bacias, o nível de risco foi quase sempre maior para a sub-bacia do Rio Monjolinho.

A pesquisa também contribuiu para o entendimento de que diferentes captações superficiais devem ser avaliadas, ao menos inicialmente, de forma separada na elaboração do PSA, para que sejam contempladas as características de cada manancial na análise de risco e nas posteriores etapas de elaboração do PSA. Essas conclusões reforçam a importância de personalizar a avaliação de riscos para cada manancial, contemplando suas particularidades. Para as sub-bacias analisadas, por exemplo, a inexistência de cercamento e sinalização de segurança é um perigo de “muito alto” risco. Contudo, a análise de outras bacias pode apresentar variações

no nível de risco para este mesmo perigo. No caso das bacias estudadas por esta pesquisa, ainda que localizadas próximas, verificou-se variações entre os níveis de risco avaliados para cada uma delas. Como exemplo, o risco associado ao carreamento de chorume de aterros sanitários, solos contaminados, depósitos de lixo ou cemitérios é avaliado como “muito alto” para a captação do Espriado, enquanto para a captação do Feijão é avaliado como de “alto risco”.

Para a elaboração do PSA do SAA de São Carlos, recomenda-se que seja formada uma equipe multidisciplinar e se procedam as etapas seguintes de elaboração do documento descritas neste trabalho. Devem ser verificadas as medidas já implementadas no SAA que tratem dos perigos identificados, para em seguida avaliar sua eficácia. Caso não existam medidas ou as medidas existentes não sejam eficazes, é necessário elaborar novas medidas a serem estabelecidas ou apresentar as melhorias necessárias às medidas pré-existentes. A equipe deve também trabalhar nos planos de gestão, priorizando a elaboração de planos de emergência e contingência, mas também contemplando as avaliações necessárias para a melhoria contínua do PSA.

Durante a execução da pesquisa, foram observados aspectos vantajosos e desvantajosos da metodologia de elaboração de um PSA proposta por WHO (2009) e Brasil (2012). Entre as vantagens, destacam-se a possibilidade de adequação do PSA às características próprias de cada sistema, contemplando seu contexto socioeconômico e ambiental. Outra vantagem é que essa metodologia conduz o sistema à um caráter prevencionista, permitindo antecipar os riscos que podem afetar a segurança hídrica do sistema. Avalia-se como principal desvantagem o certo grau de subjetividade que permeia tanto a identificação dos perigos como a avaliação dos riscos (e.g., atribuição dos graus de severidade aos perigos). É fundamental que sejam traçadas estratégias para diminuir esta subjetividade, sobretudo quando a elaboração do PSA se der por uma equipe formada dentro do âmbito da prestadora de serviço de abastecimento de água.

Deve-se considerar que a análise de riscos, como a decorrente desta pesquisa, é passível de mudanças ao longo do tempo, de acordo com as modificações no contexto socioambiental em que o SAA está inserido. Assim, o PSA deve ser alvo contínuo de revisões e melhorias, para melhor se adaptar à realidade atual do sistema. Ademais, devido ao inevitável grau de subjetividade na elaboração de um documento

como o PSA, o princípio da precaução deve prevalecer durante todo o processo, sobretudo nos casos em que não for possível mensurar algum perigo ou não houver consenso entre a equipe responsável pela elaboração, visando a segurança hídrica, principal objetivo de um PSA.

No que diz respeito aos aspectos metodológicos, a revisão sistemática realizada possibilitou a formação de um banco de dados amplo acerca dos perigos aos quais um SAA pode estar submetido. Assim, o fluxo metodológico seguido na presente pesquisa pode ser replicado em SAA de municípios de porte similar ao do município estudado, sendo feitas as necessárias adequações conforme as particularidades dos SAA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUÑA-ALONSO, C.; FERNANDES, A. C. P.; ÁLVAREZ, X.; VALERO, E.; PACHECO, F. A. L.; VARANDAS, S. da G. P.; TERÊNCIO, D. P. S.; FERNANDES, L. F. S.. Water security and watershed management assessed through the modelling of hydrology and ecological integrity: a study in the galicia-costa (nw spain). *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 759, p. 143905, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143905>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água – Panorama nacional**. 2010. Brasília: ANA: Engecorps/Cobrape. Disponível em: <https://www.aris.sc.gov.br/uploads/revista/2735/YXwFOHqcDQSDQEA2bJfi2KfS2Pt-Binw.pdf>. Acesso em 23 de jul. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas águas: Segurança hídrica do abastecimento urbano de água**. 2021. Brasília. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/files/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf/ANA_ATLAS_Aguas_AbastecimentoUrbano2021.pdf. Acesso em 20 de out. 2021.

ASFORA, M. C.; CIRILO, J. A. Reservatórios de regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 27-38, dez. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Gestão de Riscos – Diretrizes. NBR ISO 31000**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2018.

ATTADIA, L. C. do L.; MARTINS, R. A. Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua. **Revista Produção**, [S. L.], v. 13, n. 2, p. 33-41, jul. 2003.

AZEVEDO NETTO, J. M.; MARTINS, J.A.; PUPPI, I.C.; BORSARI NETTO, F.; FRANCO, P.N.C. **Planejamento de sistemas de abastecimento de água**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná e Organização Pan- Americana de Saúde, 1973. v. 1. 205p.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAÚJO, R. de; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. São Paulo, Edigar Blucher. 8ª ed, 1998. 669p.

BAIO, J. A. F. Avaliação da contaminação nos principais corpos d'água do município de São Carlos/SP. 2009. Dissertação (mestrado em química analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

BAUM, R.; AMJAD, U.; LUH, J.; BARTRAM, J.. Na examination of the potential added value of water safety plans to the United States national drinking water legislation. **International Journal Of Hygiene And Environmental Health**, [S.L.], v. 218, n. 8, p. 677-685, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.12.004>.

BERTOLO, R.; HIRATA, R.; CONICELLI, B.; SIMONATO, M.; PINHATTI, A.; FERNANDES, A. Água subterrânea para abastecimento público na Região Metropolitana de São Paulo: é possível utilizá-la em larga escala?. *Revista Dae*, [S.L.], v. 63, n. 199, p. 6-17, 2015. *Revista DAE*. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.148>.

BEUKEN, R.; et al. Identification and description of hazards for water supply systems - A catalogue of today's hazards and possible future hazards. *TECHNEAU*, 2008. 79 p

BRAGA, R. J. DE O. Diretrizes para proposição de Planos de Segurança da Água em Sistemas de Abastecimento Municipais Goianos, 2015. Universidade Federal de Goiás

BRASIL. **Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a

Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 29 jul. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 46, de 10 de fevereiro de 1998**. Institui o Sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle - APPCC a ser implantado, gradativamente, nas indústrias de produtos de origem animal sob o regime do Serviço de Inspeção Federal -SIF, de acordo com o Manual Genérico de Procedimentos. Brasília, 16 de março de 1998. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 30 de ago. 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 17 mar. 2005.

BRASIL. **Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, 05 jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 13 jul. 2021. Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008. .

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria n.º 2.914, de 12 de Dezembro de 2011**. Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. Brasília, 12 dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Plano de segurança da água: garantindo a qualidade e promovendo a saúde: um olhar do SUS** – Brasília: Ministério da Saúde, 2012. 60p.: il. – (Série B. Textos Básicos de Saúde).

BRASIL. **Capacitação em controle da qualidade da água para os técnicos dos municípios:** modelo metodológico / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014. 80 p.

BRASIL. **LEI nº 14.026, de 15 de julho 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 e dá outras providências. Brasília, 15 jul 2020. 2020a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm>. Acesso em: 13 jul. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento – SNIS. **Série histórica** – 2020. 2020b. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 29 jun. 2022.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 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. Brasília, 04 maio 2021. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

BRITTO, A. L.; REZENDE, S. C. A política pública para os serviços urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil: financeirização, mercantilização e perspectivas de resistência. **Cadernos Metrópole**, [S.L.], v. 19, n. 39, p. 557-581, ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2017-3909>.

CAMPOS, K. B. de G.; RAMIRES, I.; PAULA, S. M. de. INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NOS RECURSOS HÍDRICOS DE QUATRO CÓRREGOS NA REGIÃO DE CAARAPÓ-MS. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 5, n. 2, p. 77-92, 2011.

CARVALHO NETO, L.M.; RAMOS FILHO, R. Análise temporal (2008-2018) do uso e ocupação do solo na microbacia do Córrego Barreiro, no município de Uberaba (Minas Gerais). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.2, n.1, p.68-67. 2021.

CHANG, Z. K.; CHONG, M. L.; BARTRAM, J. Analysis of Water Safety Plan costs from case studies in the Western Pacific Region. **Water Supply**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 1358-1366, 1 set. 2013. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2013.146>.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Enquadramento dos Corpos Hídricos – Arquivos digitais**. Ughri 13. 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/enquadramento-dos-corpos-hidricos-arquivos-digitais/>. Acesso em: 26 maio 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2020 [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2021, Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>.

COSTA, C. W., DUPAS, F. A., CESPEDES, J. G., SILVA, L. F. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 32, n.1, p. 63-80, 2013.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; GROOT, R. de; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, [S.L.], v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/387253a0>.

CORRÊA, R. F. M.; VENTURA, K. S. Plano de Segurança da Água: elaboração de instrumento para análise de risco na captação de água em comunidades rurais. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S.L.], v. 8, n. 57, p. 79-97, 1 abr. 2020. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. <http://dx.doi.org/10.17271/2318847285720202087>.

CORRÊA, R. F. M.; VENTURA, K. S.. Plano de Segurança da Água: modelo conceitual para monitoramento de riscos à contaminação de água em comunidades rurais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 369-379, abr. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220190394>.

COSTA, P. I. B. **Plano de Segurança da Água**: caso de estudo: sistema de abastecimento público da água de castro verde. 2010. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro, 2010.

DARONCO, C. R. Qualidade da água para consumo humano proveniente de captação subterrânea. 2021. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas Ambientais e Sustentabilidade, – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2021. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/7115/Carla%20Regina%20aronco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jul. 2021.

DAVISON, A.; HOWARD, G.; STEVENS, M.; CALLAN, P.; FEWTRELL, L.; DEERE, D.; BARTRAM, J. **Water Safety Plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer**. Genebra: OMS, 2005. 235 p.

DETTORI, M.; ARGHITTU, A.; DEIANA, G.; CASTIGLIA, P.; AZARA, A. The revised European Directive 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption. A step forward in risk assessment, consumer safety and informative communication. **Environmental Research**, [S.L.], v. 209, p. 112773, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2022.112773>.

DIAS, C. L., IRITANI, M. A., GUILLAUMON, J. R., CASARINI, D. C. P., OKANO, O., FERREIRA, L. M. R., FRISCH, H., TROEGER, U.; SCHULER, G. (2004). RESTRIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS DE PROTEÇÃO DE AQUÍFEROS: CONCEITOS, LEGISLAÇÃO E PROPOSTA DE APLICAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO. *Águas Subterrâneas*, (1). Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23622>. Acesso em: 18 out. 2021.

DOMINGUEZ-CHICAS, A.; SCRIMSHAW, M. D.. Hazard and risk assessment for indirect potable reuse schemes: an approach for use in developing water safety plans. *Water Research*, [S.L.], v. 44, n. 20, p. 6115-6123, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.007>.

DO RIO, G. A. P.. Região Metropolitana do Rio de Janeiro e seus Sistemas de Abastecimento de Água no Século XXI. *Espaço Aberto*, v. 12, n. 1, p. 61-80, 2022.

FABBRO NETO, F.; GÓMEZ-MARTÍN, M. B. Water safety plan integrated to the land use and occupation measures: proposals for caraguatatuba-sp, brazil. *Land Use Policy*, [S.L.], v. 97, p. 104732, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104732>.

FERRARI, A. L. **Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): Estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local**. 2012. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

FERRAZ, R. L de S.; COSTA, P. da S.; VELOSO, L. L. de S. A.; BONOU, S. I.; ANJOS, F. A. dos; ROCHA, V. R. R. de A.; BARRETO, N. P.; CAVALCANTE, I E.; DANTAS NETO, J. Mudanças climáticas, semiaridez e restrição hídrica: desafios e perspectivas para o cultivo de palma forrageira. In: MELO, Júlio Onésio Ferreira (org.). **Ciências Agrárias o avanço da ciência no Brasil - Volume 1**. Guarujá: Editora Científica Digital, 2021. p. 418-427. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.org/articles/2https://downloads.editoracientifica.org/articles/210203383.pdf10203383.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2021.

FERRERO, G.; BICHAJ, F.; RUSCA, M.. Experiential Learning through Role-Playing: enhancing stakeholder collaboration in water safety plans. *Water*, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 227, 23 fev. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10020227>.

FIGUEIREDO, L. M. M. **O PAPEL DO PLANO NACIONAL DE SEGURANÇA HÍDRICA: A UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO A ÁGUA NO PAÍS, PRINCIPALMENTE NO NORDESTE E CEARÁ**. 2020. 32 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Gestão e Políticas Públicas, Escola de Administração de Empresas de São Paulo, São Paulo, 2020.

FLORENÇANO, J. C. S.; COELHO, F.de A. O ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SEUS REFLEXOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO. *Construindo*, Belo Horizonte, v. 06, n. 01, p. 42-50, 10 nov. 2014.

FONSECA, A. R.; NOGUEIRA GONTIJO, R. A. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade microbiológica das águas em nascentes da área urbana de Santo Antônio do Monte – MG. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 10, n. 20, p. 87-101, 4 jun. 2021.

FREITAS, D. de; SANTOS, S. A. M. dos. **Atlas histórico e socioambiental das regiões hidrográficas de São Carlos - SP** / São Carlos, SP: Diagrama Editorial, 2020. 166 p.

FURIGO, R. de F. R.; FERRARA, L. N.; SAMORA, P. R.; MORETTI, R. de S.. UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO: possibilidades para superar o déficit dos assentamentos precários urbanos. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE URBANIZAÇÃO DE FAVELAS, 3., 2018, Salvador. Anais [...]. Salvador: 2018. p. 1-20. Disponível em: <http://lepur.com.br/wp-content/uploads/2018/11/FURIGO-ET-AL-URB-Favelas-2018.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2022.

GONÇALVES, C. S.; RHEINHEIMER, D. dos S.; PELLEGRINI, J. B. R.; KIST, S. L.. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 391-399, 2005.

GRADVOHL, S. T. S. Análise de riscos em sistemas de abastecimento de água sob a perspectiva do plano de segurança da água. Estudo de caso: região metropolitana de Fortaleza no Estado do Ceará. 2012. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) -Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

GROTTO, B.de D.; FIALHO, A.M.; PROTTI, A. F.; RUGGIERO, M. H.; MOSCHINI, L. E. **A LEI DA APREM EM SÃO CARLOS-SP**: análise de sua efetividade na bacia do ribeirão feijão. Guia Universitário de Informações Ambientais, São Carlos, v. 2, n. 1, p. 61-64, 14 jun. 2021.

GUIMARÃES JUNIOR, Paulo R. **Vulnerabilidade das microrregiões do Estado de São Paulo à pandemia do novo coronavírus (SARS-CoV-2)**. 15 abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/scielopreprints.49>.

GUNNARSDÓTTIR, M. J.; GARDARSSON, S. M.; FIGUERAS, M. J.; PUIGDOMÈNECH, C.; JUÁREZ, R.; SAUCEDO, G.; ARNEDO, M. J.; SANTOS, R.; MONTEIRO, S.; AVERY, L. Water safety plan enhancements with improved drinking water quality detection techniques. **Science Of the Total Environment**, [S.L.], v. 698, p. 134185, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134185>.

GUNNARSDÓTTIR, M.J.; GISSURARSON, L. R. HACCP and water safety plans in Icelandic water supply: preliminary evaluation of experience. **Journal Of Water and Health**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 377-382, 1 mar. 2008. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wh.2008.055>.

HAMILTON, P. D.; GALE, P.; POLLARD, S. J.T.. A commentary on recent water safety initiatives in the context of water utility risk management. *Environment International*, [S.L.], v. 32, n. 8, p. 958-966, dez. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2006.06.001>.

HASAN, H.; PARKER, A.; POLLARD, S. J.T. Whither regulation, risk and water safety plans? Case studies from Malaysia and from England and Wales. **Science Of the Total Environment**, [S.L.], v. 755, p. 142868, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142868>.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019. 38p. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002928658>. Acesso em 22 jul. 2021.

HOFFMANN, T. C. P.; OLIVEIRA, F. A. de. (2018). INFLUÊNCIA DO USO DA TERRA EM ÁREAS RURAIS E URBANAS NA PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E TURBIDEZ NA BACIA DO RIO CAPIVARI, LAPA-PR. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 19(4). <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1340>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico de uso da terra, 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013,

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: Abastecimento de água. 2017a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**: São Carlos. São Paulo. 2017b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>. Acesso em: 20 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malha Municipal**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 26 maio 2022.

JACOBI, P. R.; BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo - desafios à luz das mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 35, n. 102, p. 209-226, ago. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.013>.
JETOO, S.; GROVER, V.; KRANTZBERG, G. The Toledo Drinking Water Advisory: suggested application of the water safety planning approach. **Sustainability**, [S.L.], v. 7, n. 8, p. 9787-9808, 23 jul. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su7089787>.

JORSARAEI, A.; GOUGOL, M.; VAN LIER, J. B. A cost effective method for decentralized sewage treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, [S.L.], v. 92, n. 6, p. 815-821, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2013.04.001>.

LANE, K.; FULLER, M.; DYMENT, T.; GAGNON, G.. Co-development of a risk assessment tool for use in First Nations water supply systems: a key step to water safety plan implementation. *International Journal Of Hygiene And Environmental Health*, [S.L.], v. 240, p. 113916, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113916>.

LI, H.; SMITH, C. D.; COHEN, A.; WANG, Li; LI, Z.; ZHANG, X.; ZHONG, G.; ZHANG, R.. Implementation of water safety plans in China: 2004-2018. **International Journal Of Hygiene And Environmental Health**, [S.L.], v. 223, n. 1, p. 106-115, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.10.001>.

LIMA, M. A. de. **Estratégias para elaboração de um plano de segurança da água para abastecimento humano do município do Natal/RN**. 2010. 117 f. Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental; Meio Ambiente; Recursos Hídricos e Hidráulica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

LINDHE, A.; ROSÉN, L.; NORBERG, T.; BERGSTEDT, O.; PETTERSSON, T. J.R.. Cost-effectiveness analysis of risk-reduction measures to reach water safety targets. *Water Research*, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 241-253, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.048>.

MACHADO, F.H.; DUPAS, F.A. Valoração de Recursos Hídricos como Subsídio na gestão do manancial urbano Do Ribeirão do Feijão, São Carlos – SP. *GEOUSP: Espaço e Tempo*, n. 33, p. 111-126, 2013. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2013.74305>

MACHADO, E. S.; KNAPIK, H. G.; BITENCOURT, C. de C. A. de. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 261-269, abr. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019181252>.

MALHEIROS, T. **Relatório Sobre Poluição Atmosférica De São Carlos**. 92 f. 2014. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/258782/mod_resource/content/0/Modelo%20de%20Relat%C3%B3rio.pdf. Acesso em: 16 de jan. 2023.

MARQUES, D. H. F.; CANÇADO, C. J.; SOUZA, P. DE C. **Reflexões sobre o novo marco regulatório do saneamento básico**: possíveis impactos no planejamento de Minas Gerais. – Belo Horizonte: FJP, 2021.

MARTINS, G; CASTRO, V. L. L.. Evolução da concentração de nitrato nas águas subterrâneas da região Norte de Natal, Nordeste do Brasil.. **Geotecnica** (Lisboa), v. 129, p. 25-32, 2014. Disponível em: <https://www.revistageotecnica.com>. Acesso em: 22 jul. 2021.

MARTINS, R. G. **Modelagem da carga de poluição difusa em escala de bacia com valores de concentração média por evento a partir de dados de uma rede de monitoramento local**. 2017. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MAYS, L. W. **Water transmission and distribution: Distribution Principles and Practices of Water Supply Operations**. American water works association. 4ª edição, 2010.

- MAZZUCO, G. G.; LORANDI, R. **Impactos ambientais negativos das atividades antrópicas na qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Ribeirão dos Toledos**: Aplicação do IQA-HIDRO. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 8., 2018, Coimbra. Atas do 8º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Coimbra: 2018. Disponível em: <http://www.pluris2018.com/pt/show/60>. Acesso em: 21 out. 2021.
- MEDEIROS, R. C.; DANIEL, L. A. Cloração de esgoto sanitário: variação de cloro residual e o uso de parâmetros facilmente mensuráveis na indicação de breakpoint. **Revista Dae**, [S.L.], v. 65, n. 206, p. 87-98, 2017. *Revista DAE*. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2016.030>.
- MELLO, F. C.; COSTA, G. M. da. O alcance sanitário da urbanização de favelas em Belo Horizonte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 16., 2008, Caxambu. Anais [...] . Caxambu: 2008. p. 1-20. Disponível em: <http://www.abep.org.br/~abeporgb/publicacoes/index.php/anais/article/viewFile/1812/1771>. Acesso em: 07 abr. 2022.
- MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. de S.; BELLO, I. Pinheiro; FIA, Ronaldo; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho de. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 519-534, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016145405>.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P.. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, dez. 2002.
- MOREIRA, F. D.; DIAS, E. H. O. Constructed wetlands applied in rural sanitation: a review. *Environmental Research*, [S.L.], v. 190, p. 110016, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2020.110016>.
- MOSCHINI, L.E. Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Médio Mogi-Guaçu Superior, Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2008.
- MOUCHTOURI, V. A.; BARTLETT, C. L.R.; DISKIN, A.; HADJICHRISTODOULOU, C.. Water Safety Plan on cruise ships: a promising tool to prevent waterborne diseases. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 429, p. 199-205, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.018>.
- MOURA, C. C. de; GASTMANS, D.; KIANG, C. H.; MODESTO, R. P.; RODRIGUES, P. F.; RUBY, E. C.; BORGES, A. V. Concentrações de nitrato nas águas subterrâneas em áreas rurais do município de São José do Rio Preto (SP). *Águas Subterrâneas*, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 268–284, 2015. DOI: 10.14295/ras.v29i2.27980. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27980>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- NASCIMENTO, T. V. do; FERNANDES, L. L. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA DA AMAZÔNIA. **Ciência e Natura**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 170, 29 dez. 2016. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x21737>.
- OLIVEIRA-ANDREOLI, E.; SILVA, F.; LÓPEZ, F.; MACHADO, R.; TEODORO, C.; BIANCHINI JÚNIOR, I.; CUNHA-SANTINO, M.; FUSHITA, A.; CRESTANA, S. IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO REGIONAL PARA A MANUTENÇÃO DOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, n. 52, p. 16-27, 2019.
- OLIVEIRA, A. de; MAGALHÃES, T. de B.; MATA, R. N. da; SANTOS, F. S. G. dos; OLIVEIRA, D. C. de; CARVALHO, J. L. B. de; ARAÚJO, W. N. de. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua): características, evolução e aplicabilidade. **Epidemiologia**

e **Serviços de Saúde**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 1-2, abr. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742019000100024>. 2019a.

OLIVEIRA, C. M. de; SOUSA, I. C. N. de; ZANQUIM JUNIOR, J. W.; COLENCI, P. L. (org.). **CIDADES (I)LEGAIS: análise comparativa dos conflitos ambientais urbanísticos em São Carlos, Brasil e Coimbra, Portugal**. São Carlos: UFSCAR/CPOI, 2019. 275 p. 2019b.

OLIVEIRA, L. L. de; TEIXEIRA, N. R. B. **AVALIAÇÃO DE RISCOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE FORMOSA-GO PARA IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA - PSA**. In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO DA ASSEMAE, 48., 2018, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza. 2018. p. 77-91.

OLIVEIRA, O. A. G. de; MAYNARD, I. F. N.; CAVALCANTE, E. B.; MELO, C. M.; MARQUES, M. N. Sistematização do controle de qualidade da água como fator de saúde e comprometimento ambiental: Plano de segurança da água da grande Aracaju – Estudo de caso. In: SEMANA DE PESQUISA DA UNIVERSIDADE TIRADENTES, 18., 2016, Aracaju. Anais [...]. Aracaju. 2016.

OLUWASANYA, G O.; CARTER, R. C. Water safety planning for small water supply systems: the framework and control measures. **Water Supply**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1524-1533, 4 abr. 2017. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2017.057>.

OMAR, Y. Y.; PARKER, A.; SMITH, J. A.; POLLARD, S. J.T.. Risk management for drinking water safety in low and middle income countries - cultural influences on water safety plan (WSP) implementation in urban water utilities. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 576, p. 895-906, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.131>.

PAGANINI, W. DA S.; BOCCHIGLIERI, M. M. (2021). O Novo Marco Legal do Saneamento: universalização e saúde pública. *Revista USP*, (128), 45-60. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i128p45-60>.

PELEGRINI, M. dos S. Áreas de preservação permanente urbanas e análise de Inundações no município de são carlos - aplicação do código florestal brasileiro no córrego do Monjolinho / Urban permanent preservation areas and analysis offloods in the city of são carlos - application of the Brazilian code forestry in the Monjolinho's stream. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 3003-3017, 14 jul. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv4n3-019>.

PERES, R. B.; SCHENK, L. B. M. Landscape planning and climate changes: a multidisciplinary approach in são carlos (sp). **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 24, p 1-24, 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190177r2vu202111ao>.

PÉREZ-VIDAL, A.; ESCOBAR-RIVERA, J. C.; TORRES-LOZADA, P.. Development and implementation of a water-safety plan for drinking-water supply system of Cali, Colombia. **International Journal Of Hygiene And Environmental Health**, [S.L.], v. 224, p. 113422, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113422>.

PINTO, A. G.. **Plano de segurança da água como ferramenta da gestão voltada para o abastecimento público: estudo da bacia do rio capivari**. 2020. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (ed.). **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)**. 6. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2017.

QUAGGIO, C. S.; GASTMANS, D.; KIRCHHEIM, R.; BATISTA, L. Vi. Variações na composição das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral em território brasileiro e sua relação com anomalias hidrogeoquímicas. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 283-294, 13 ago. 2018. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i3.29085>.

REBOUÇAS, A. et al. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3º edição Revista e Ampliada. Escrituras Editora. São Paulo: 748 pp. 2006.

REID, D. C.; ABRAMOWSKI, K.; BEIER, A.; JANZEN, A.; LOK, D.; MACK, H.; RADHAKRISHNAN, H.; RAHMAN, M. M.; SCHROTH, R.; VATCHER, R.. Implementation of Alberta's drinking water safety plans. **Water Quality Research Journal**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 5-9, 17 dez. 2013. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wqrj.2013.063>.

REGIER, P. J.; GONZÁLEZ-PINZÓN, R.; VAN HORN, D. J.; REALE, J. K.; NICHOLS, J.; KHANDEWAL, Aashish. Water quality impacts of urban and non-urban arid-land runoff on the Rio Grande. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 729, p. 138443, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138443>.

RIBEIRO, N. U. F.; BEGA, J. M. M.; ZAMBRANO, K. T.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; CARVALHO, S. L. de. Qualidade da água do rio Paraná em região de balneabilidade: discussão sobre os impactos potenciais do lançamento de efluentes provenientes de tratamento secundário. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.]. 10 jun. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220210126>.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Tratamento de Água**: tecnologia atualizada. São Paulo: Blücher, 2013. 332 p.

RIOS, Marina Rodrigues; FLORENTINO, Ligiane Aparecida; ROSSI, Marco Aurélio de Lima Silva; DOMINGUETI, Catherine Bueno. INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA NO MUNICÍPIO DE BOA ESPERANÇA E O POTENCIAL IMPACTO À SAÚDE. Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente: avanços, retrocessos e novas perspectivas - Volume 3, [S.L.], p. 145-155, 2022. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/220107174>.

RODRIGUES, R. de B.; ARAÚJO, S. M. S. de; BEZERRA, M. F.; SOUSA, L. A. de. Análise da dinâmica espacial e temporal do uso e ocupação do solo no município de Condado-PB (1989- 2018). **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 1-18, 13 fev. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26001>.

RODRÍGUEZ, M. P.. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO ALTO JACARÉ-GUAÇU/SP (RIBEIRÃO DO FEIJÃO E RIO DO MONJOLINHO) ATRAVÉS DE VARIÁVEIS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS. 2001. 175 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

ROSA, C. A. S.; OLIVEIRA, A. M.; SAAD, A. R. A expansão urbana e o IQA como ferramentas de avaliações e análises da evolução da qualidade das águas do rio Cotia, região metropolitana de São Paulo, Brasil. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. São Paulo, v. 19, n. 4, p. 114-123, 2014.

ROSSO, A.; LAMIN, P. C.; SILVA, L. A. **PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA: APOIO NA ELABORAÇÃO E IMPLANTAÇÃO EM AUTARQUIA MUNICIPAL**. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO, 20., 2016, Jaguará do Sul. Anais [...] . Jaguará do Sul. 2016. p. 654-667.

SAAE SÃO CARLOS. Memorial descritivo: Sistema de abastecimento de água. 16 p. [20??].

SAAE SÃO CARLOS. **Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos**: Mananciais. 2021a. Disponível em: <https://www.saaesaocarlos.com.br/saaesc/index.php/agua/mananciais>. Acesso em: 20 out. 2021

SAAE SÃO CARLOS. **Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos**: estrutura organizacional. 2021b. Disponível em: <https://www.saaesaocarlos.com.br/saaesc/index.php/saae-sao-carlos/estrutura-organizacional>. Acesso em: 20 out. 2021.

SALEHI, M.. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. **Environment International**, [S.L.], v. 158, p. 106936, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936>.

SANTOS, M. G. B. dos; ROCHA, G. A.; PORTELLA, A. R. Impact of agriculture on water quality: a brief review. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, [S.L.], v. 180, n. 10, 4 jun. 2022. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. <http://dx.doi.org/10.17271/1980082718120223148>.

SANTOS, P. S. dos; SANTOS, M. E. de G. dos; SANTOS, R. dos. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO: reflexão sobre impacto ambiental. *Agri-Environmental Sciences*, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 10, 23 jun. 2021. *Agri-Environmental Sciences - AGRIES*. <http://dx.doi.org/10.36725/agries.v7i1.5208>.

SÃO CARLOS. **Lei Municipal nº 13.944, de 12 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais – APREM e dá outras providências. São Carlos, 2006. Disponível em: http://www.saocarlos.sp.gov.br/images/stories/legislacao_urbanistica_municipal/lei13944.pdf. Acesso em: 02 ago. 2021.

SÃO CARLOS. **Lei Municipal nº 18.053, de 19 de dezembro de 2016**. Estabelece o Plano Diretor do Município de São Carlos e dá outras providências. São Carlos, 2016. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/utilidade-publica/plano-diretor.html>. Acesso em: 09 set. 2022.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997**. Dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo e dá outras providências. São Paulo, 28 nov. 1997. Disponível em: https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1997_Lei_Est_9866.pdf. Acesso em: 18 out. 2021.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE. **Portal mananciais**: legislação estadual. 2021. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/portalamananciais/legislacao-estadual/>. Acesso em: 18 out. 2021.

SCHMIEGE, D.; EVERS, M.; ZÜGNER, V.; RICKERT, B. Comparing the German enabling environment for nationwide Water Safety Plan implementation with international experiences: are we still thinking big or already scaling up?. *International Journal Of Hygiene And Environmental Health*, [S.L.], v. 228, p. 113553, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113553>.

SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (São Paulo). **SEADE Municípios**: São Carlos. 2021. Disponível em: <https://municipios.seade.gov.br/>. Acesso em: 20 out. 2021.

SETTY, K. E.; KAYSER, G. L.; BOWLING, M.; ENAULT, J.; LORET, J.; SERRA, C. P.; ALONSO, J. M.; MATEU, A. P.; BARTRAM, J.. Water quality, compliance, and health outcomes among utilities implementing Water Safety Plans in France and Spain. *International Journal Of Hygiene And Environmental Health*, [S.L.], v. 220, n. 3, p. 513-530, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.02.004>.

SHAMSUZZOHA, M.; KORMOKER, T.; GHOSH, R. C.. Implementation of Water Safety Plan Considering Climatic Disaster Risk Reduction in Bangladesh: a study on patuakhali pourashava water supply system. *Procedia Engineering*, [S.L.], v. 212, p. 583-590, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.075>.

SILVA, G. H. R. da; DANIEL, L. A. Desinfecção de efluente anaeróbico com o uso de ozônio/cloro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 279-288, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000083662>.

SILVA, L. L. F.; MORAES, M. F.; SILVA, R. B. da. **INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA EM BACIAS DE CAPTAÇÃO PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO**. 2016. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

SOARES, S.R.A.; BERNARDES, R.S.; CORDEIRO NETTO, O.M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 1713-1724, 2002.

SORLINI, S.; BIASIBETTI, M.; ABBÀ, A.; COLLIVIGNARELLI, M. C.; DAMIANI, S. Water Safety Plan for drinking water risk management: the case study of mortara (pavia, italy). *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 513, 28 jun. 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2102>.

SOUZA, A. R. **Identificação de áreas prioritárias à implementação de programas de Pagamento por Serviços Ambientais na Bacia do Ribeirão do Feijão, São Carlos-SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019

SOUZA, C. M. N.; FREITAS, C. M. de. A produção científica sobre saneamento: uma análise na perspectiva da promoção da saúde e da prevenção de doenças. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 65-74, mar. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522010000100008>.

SOUZA, W. L. Z. M. **Plano de Segurança da Água**: uma proposta metodológica para Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. 2014. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia; Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOUZA, J. B. de; DANIEL, L. A. Comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* em água com elevada concentração de matéria orgânica. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 111-117, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522005000200004>.

SOUZA, M. M. de; GASTALDINI, M. do C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 263-274, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522014019000001097>.

SPEXOTO, A. A.; OLIVEIRA, C. A. F.; OLIVAL, A. de A. Aplicação do sistema de análise de perigos e pontos críticos de controle em propriedade leiteira tipo A. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 35, n. 6, p. 1424-1430, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782005000600031>.

TRAM, V. N. Q.; SOMURA, H. MOROIZUMI, T.; MAEDA, M.. Effects of local land-use policies and anthropogenic activities on water quality in the upstream Sesan River Basin, Vietnam. *Journal Of Hydrology: Regional Studies*, [S.L.], v. 44, p. 101225, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101225>.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 3ª edição, 2006.

TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B.; BRAGA JUNIOR, B. P. F.; BICUDO, C. E. DE M.; TUCCI, C. E. M.; MENDIONDO, E. M.; SPILKI, F. R.; BARBOSA, F. A. R.; HESPANHOL, I.; CIRILO, J. A.; MARTINELLI, L. A.; ROCHA, O.; CIMINELLI, R.R.; HIRATA, R. C. A.; AZEVEDO, S. M. F. DE O. E.; CRESTANA, S.; TUNDISI, T.M.; CONFALONIERI, U.; CIMINELLI, V. S. T. **Recursos hídricos no Brasil**: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 76 p.

UN-WATER. **Water Security & the Global Water Agenda**: A UN-Water Analytical Brief. 2013. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/water-security-global-water-agenda/>. Acesso em: 16 set 2021.

VARGAS, M. C. A “crise hídrica” na grande São Paulo (2014-2015): Vulnerabilidade climática e déficit de governança. **Antropologia Americana**, v. 4, n. 8, p. 87 116, 2019.

VASCONCELLOS, F.C. da S.; IGANCI, J.R.V.; RIBEIRO, G.A.. QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DO RIO SÃO LOURENÇO, SÃO LOURENÇO DO SUL, RIO GRANDE DO SUL. **Arquivos do**

Instituto Biológico, [S.L.], v. 73, n. 2, p. 177-181, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657v73p1772006>.

VENTURA, K. S.; FERREIRA, L. L. RISCOS IDENTIFICADOS EM CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COMO SUBSÍDIO AO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA. ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO EM SÃO CARLOS, ESTADO DE SÃO PAULO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande. 2016.

VENTURA, K. S.; VAZ FILHO, P.; NASCIMENTO, S. G. Plano de segurança da água implementado na estação de tratamento de água de Guaraú, em São Paulo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 109-119, fev. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019169881>.

VIEIRA, J.M.P.; MORAIS, C. **Manual para a elaboração de planos de segurança da água para consumo humano**. Minho: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Universidade do Minho: 2005. 175p. (Série Guias Técnicos, 7).Nd edition. Volume 1.

VILLAR, P. C. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente & Sociedade** [en linea]. 2016, XIX (1), 83-100. ISSN: 1414-753X. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31745308009>. Acesso em 27 jul. 2021.

VIVALDINI, A. R. S. **Estudo de casos de erosões hídricas lineares e seu controle na cidade de São Carlos e comparativo com outras regiões**. 2021. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

VON SPERLING, M. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte, Universidade federal de Minas Gerais. 2ª edição, 1996.

WHATELY, M.; DINIZ, L. T.. Água e esgoto na grande São Paulo: situação atual, nova lei de saneamento e programas governamentais propostos. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality**. Vol. 1. 3rd ed. 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Water Safety Plans: Managing drinking-water quality from catchment to consumer**. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. 2009.

BARTRAM, J; CORALLES, L.; DAVISON, A.; DEERE, D.; DRURY, D.; GORDON, B.; HOWARD, G.; RINEHOLD, A.; STEVENS, M. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. World Health Organization. Geneva, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Climate-resilient water safety plans: Managing health risks associated with climate variability and change**. 2017.

ZAMBRANO, K. T.; IMANI, M.; CUNHA, D. G. F. COVID-19 and organisational resilience in Brazil's water sector. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 848, p. 157637, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157637>.

ZAFFANI, A. G. **Poluição difusa da drenagem urbana com base ecohidrológica: diagnóstico atual e cenários de longo prazo em bacias urbanas de São Carlos, SP**. 2012. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

ZAHARIA, C. **Wastewater treatment systems**: Characteristics, performances and applicability for environmental sanitation services. Conference: The 21st International Conference of Inventics - "INVENTICA 2017", Iasi, June 28-30, 2017. At: Iasi, Romania. Volume: 1, ISSN 1844-7880.

ZHANG, F.; CHEN, Y.; WANG, W.; JIM, C. Y.; ZHANG, Z.; TAN, M. L.; LIU, C.; CHAN, N. W.; WANG, D.; WANG, Z.. Impact of land-use/land-cover and landscape pattern on seasonal in-stream water quality in small watersheds. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 357, p. 131907, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131907>.

APÊNDICE A – Classes de uso e ocupação do solo e áreas identificadas para a sub-bacia do Rio Monjolinho

Monjolinho				
Uso e ocupação	Área (km²)			
	2014		2021	
	Bacia total	Bacia de captação	Bacia total	Bacia de captação
Total	274,07	26,31	274,07	26,31
Águas continentais	2,32	0,2	1,86	0,19
Área agrícola	108,82	9,0	114,22	9,52
Área campestre	0,83	0,2	1,07	0,21
Área industrial	1,78	0,0	2,05	0,03
Área urbana	46,30	3,4	51,02	3,39
Aterro sanitário	0,42	0,0	0,42	0,00
ETE	0,12	0,0	0,12	0,00
Ferrovia	0,18	0,0	0,18	0,00
Mineração	0,99	0,0	0,99	0,00
Pastagem e vegetação rasteira	45,56	6,6	41,52	6,63
Rodovia e postos de combustível	1,69	0,2	1,73	0,19
Silvicultura	0,81	0,0	1,70	0,57
Solo exposto	6,68	0,2	0,37	0,08
Vegetação natural	57,58	6,5	56,81	5,51

APÊNDICE B - Classes de uso e ocupação do solo e áreas identificadas para a sub-bacia do Ribeirão do Feijão

Feijão				
Uso e ocupação	Área (km²)			
	2014		2021	
	Bacia total	Bacia de captação	Bacia total	Bacia de captação
Total	239,67	235,48	239,67	235,48
Águas continentais	3,15	3,13	3,67	3,65
Área Agrícola	55,63	54,68	55,23	55,23
Área Campestre	6,08	6,08	12,70	10,33
Área industrial	4,16	4,16	4,82	4,82
Área urbana	0,83	0,83	0,91	0,91
Ferrovia	0,33	0,33	0,33	0,33
Mineração	0,17	0,17	0,17	0,17
Pastagem e vegetação rasteira	68,89	67,92	66,64	66,64
Rodovia e postos de combustível	2,04	2,04	2,04	2,04
Silvicultura	27,58	27,58	35,20	35,20
Solo Exposto	15,06	14,66	4,77	4,75
Vegetação natural	55,75	53,92	53,34	51,58

APÊNDICE C – Perigos e eventos perigosos identificados pela revisão sistemática de literatura para as diferentes etapas do SAA

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
SAA como um todo	Corrupção internamente ao prestador de serviço	Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
SAA como um todo	Crença por parte do prestador de serviço de que se deve entregar primeiro e garantir a segurança da água depois	Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
SAA como um todo	Priorização pelo prestador de serviço do fornecimento de água em quantidade, deixando a qualidade em segundo plano	Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
SAA como um todo	Vandalismo, terrorismo e roubo	Beuken <i>et al.</i> (2008); Sorlini <i>et al.</i> (2017); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
SAA como um todo	Falta de participação da comunidade na co-gestão do sistema	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
SAA como um todo	Controle/fiscalização deficiente da conformidade com normas e outros aspectos legais	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico
SAA como um todo	Conflitos de uso da terra	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Social e cultural
SAA como um todo	Conflitos militares e interferências políticas	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Social e cultural
SAA como um todo	Sabotagem, contaminação intencional ou ataque cibernético (por exemplo, manipulação de operações)	Vieira e Morais (2005); Hamilton, Gale e Pollard (2006); Beuken <i>et al.</i> (2008)	Social e cultural
SAA como um todo	Insuficiência de funcionários para realizar a manutenção e operação	Beuken <i>et al.</i> (2008); Omar <i>et al.</i> (2017)	Recursos humanos
SAA como um todo	Escassez ou não realização de treinamentos para os	Beuken <i>et al.</i> (2008); Braga (2015); Omar <i>et</i>	Recursos humanos

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
	funcionários, por parte do prestador de serviço, que resulte em falta de conhecimento específico para a operação e manutenção do sistema, incluindo aspectos de segurança do trabalho	<i>al.</i> (2017); Lane <i>et al.</i> (2022)	
SAA como um todo	Ausência do uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI) pelos operadores, apesar do fornecimento do EPI e realização de treinamento/capacitação prévia pelo prestador do serviço.	Braga (2015)	Recursos humanos
SAA como um todo	Não conformidade com as diretrizes da concessionária na operação e manutenção do sistema, apesar da realização de treinamento/capacitação prévia pelo prestador do serviço.	Hamilton, Gale e Pollard (2006); Omar <i>et al.</i> (2017); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
SAA como um todo	Desatualização de dados referentes ao sistema (ex: traçado das redes)	Omar <i>et al.</i> (2017)	Técnico
SAA como um todo	Uso de normas, leis e documentos técnicos desatualizados na gestão e operação do sistema	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
SAA como um todo	Baixa qualidade dos dados que alimentam os sistemas de informação	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
SAA como um todo	Inexistência de plano de emergência	Braga (2015); Li <i>et al.</i> (2020)	Técnico
SAA como um todo	Tubulações de esgoto e de água muito próximas (contaminação cruzada)	Corrêa e Ventura (2021)	Técnico

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
SAA como um todo	Contaminação devido ao uso de materiais não adequados ou desgaste devido ao uso de materiais não indicados para contato com água potável	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
SAA como um todo	Deficiência na limpeza e manutenção das tubulações, acarretando inclusive vazamento ou ruptura da tubulação devido à corrosão interna e/ou externa	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Financeiro
			Técnico
SAA como um todo	Deficiência na manutenção preventiva e calibração dos equipamentos, incluindo a inexistência de planos de manutenção dos equipamentos	Braga (2015); Lane <i>et al.</i> (2022)	Técnico
SAA como um todo	Inexistência de equipamentos de substituição (ex. bomba reserva)	Braga (2015); Lane <i>et al.</i> (2022)	Financeiro
			Técnico
SAA como um todo	Falhas nos alarmes e nos equipamentos do sistema de alerta	Vieira e Morais (2005)	Acidental
SAA como um todo	Acesso de pessoas não autorizadas às estruturas componentes do sistema	Braga (2015)	Social e cultural
SAA como um todo	Acidente de energia nuclear	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Acidental
SAA como um todo	Desastres naturais (ex. terremotos, tempestades, incêndios) e decorrentes de condições inadequadas de manutenção das instalações	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Acidental
SAA como um todo	Mudanças nos padrões climáticos (ex. padrões de precipitação e evaporação)	Beuken <i>et al.</i> (2008); Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010); Li <i>et al.</i> (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera	Ambiguidade

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
		e Torres-Lozada (2020)	
SAA como um todo	Alteração no padrão de infecções (aumento da exposição a patogênicos devido a migração de cidadãos, pandemias e epidemias)	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Ambiguidade
Captação superficial e subterrânea	Poluição da água durante rituais religiosos e práticas culturais	Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Captação superficial e subterrânea	Proximidade de assentamentos humanos de desenvolvimento incompleto/informal ao manancial	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Captação superficial e subterrânea	Proximidade de atividades comerciais informais e/ou ilegais ao manancial	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Captação superficial e subterrânea	Gestão inadequada dos recursos hídricos pelos órgãos competentes	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Rachaduras nas estruturas causadas por árvores e raízes	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Desmatamento em bacias afluentes, elevado grau de deterioração da vegetação ciliar e área de preservação permanente	Braga (2015); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Erosão, provocada por acúmulo de sedimentos, dragagem ou transporte; assoreamento; deslizamentos de terra; superfície de terra cárstica com dolinas abertas; terremotos	Beuken <i>et al.</i> (2008); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade Acidental
Captação superficial e subterrânea	Proximidade de atividades agropecuárias ou de silvicultura ao manancial, com possível aplicação inadequada de fertilizantes e pesticidas e carreamento de resíduos para o manancial	Vieira e Morais (2005); Hamilton, Gale e Pollard (2006); Beuken <i>et al.</i> (2008); Li <i>et al.</i> (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada	Externalidade

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
		(2020); Corrêa e Ventura (2021)	
Captação superficial e subterrânea	Presença de animais, inclusive domésticos, no entorno do manancial	Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Descarga de águas residuárias de matadouros ou abate de animais próximo ao manancial	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2020)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Presença de carcaças de animais ao redor do manancial	Côrrea e Ventura (2020)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Descarte de resíduos sólidos nas proximidades do manancial, causando contaminação direta e/ou através de lixiviação de resíduos humanos ou de animais, inclusive o acúmulo de excrementos.	Côrrea e Ventura (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Carreamento de chorume de aterros sanitários, solos contaminados, depósitos de lixo ou cemitérios	Beuken <i>et al.</i> (2008); Côrrea e Ventura (2020)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Disposição de resíduos sólidos perigosos próximo ao manancial	Vieira e Morais (2005)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Proximidade com atividades portuárias, pesca intensiva e piscicultura, inclusive depósito de latrinas de barcos próximo ao manancial	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Inadequação e problemas na operação da rede de esgoto	Beuken <i>et al.</i> (2008); Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010)	Externalidade
Captação superficial e subterrânea	Atividades de construção com interferência no subsolo (ex. construção de hidrovias, instalações para manuseio ou armazenamento de produtos perigosos, e instalações para trabalhadores da construção)	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
Captação superficial e subterrânea	Derramamento de substâncias acidental e/ou durante respostas a emergência (como incêndios)	Beuken <i>et al.</i> (2008); Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010); Li <i>et al.</i> (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Acidental
Captação superficial e subterrânea	Não realização do monitoramento de vazão	Braga (2015)	Social e cultural
			Técnico
Captação superficial e subterrânea	Insuficiência na realização de análises de qualidade da água	Li <i>et al.</i> (2020)	Recursos humanos
			Técnico
Captação superficial e subterrânea	Baixa capacidade analítica do laboratório do prestador de serviço para monitorar a qualidade da água bruta	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico
Captação superficial e subterrânea	Inexistência de cercamento e sinalização de segurança	Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Captação superficial e subterrânea	Falhas ou rupturas na parte elétrica, nas juntas, nas válvulas e/ou na bomba	Sorlini <i>et al.</i> (2017); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Captação superficial e subterrânea	Entrada de água contaminada por meio de rachaduras, orifícios e equipamentos danificados	Côrrea e Ventura (2020)	Técnico
Captação superficial e subterrânea	Ocorrência de eventos hidráulicos extremos como chuvas torrenciais e inundações, acarretando inclusive a inviabilização temporária na captação de água	Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2021)	Acidental
			Variabilidade

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
Captação superficial e subterrânea	Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação ou fazendo com que haja volume insuficiente para abastecimento do sistema	Vieira e Moraes (2005); Beuken <i>et al.</i> (2008); Lindhe <i>et al.</i> (2011); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Corrêa e Ventura (2021); Lane <i>et al.</i> (2022)	Variabilidade
Captação superficial e subterrânea	Contaminação da água, inclusive em decorrência de acidentes, levando a inviabilização temporária na captação	Beuken <i>et al.</i> (2008); Lindhe <i>et al.</i> (2011)	Acidental
Captação superficial e subterrânea	Tráfego, inclusive ferrovias, aeródromos, estradas, áreas de estacionamento e postos de gasolina próximo ao manancial, causando emissões, vazamentos e derramamento de óleo, inclusive devido a ocorrência de acidentes	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade
			Acidental
Captação superficial e subterrânea	Ruptura de barragens, inclusive de rejeitos, causando escoamento extremo e/ou contaminação da água	Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2020)	Acidental
Captação superficial e subterrânea	Aumento do nível de contaminantes e poluentes na água bruta acima da disponibilidade de tecnologias de tratamento da ETA	Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010); Li <i>et al.</i> (2020)	Variabilidade
Captação superficial	Mudanças na temperatura da água utilizada por usinas de energia	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade
Captação superficial	Deposição atmosférica de produtos químicos tóxicos	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Externalidade
Captação superficial	Poluição por escoamento difuso de origem urbana	Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020)	Externalidade
Captação superficial	Descarga de resíduos industriais, contendo produtos químico e/ou	Hamilton, Gale e Pollard (2006); Beuken <i>et al.</i> (2008);	Externalidade

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
	matéria orgânica, em cursos de água	Li et al (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	
Captação superficial	Descarga de águas residuárias domésticas sem tratamento	Li et al. (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Captação superficial	Lançamento de efluentes tratados advindos do sistema público de esgotamento sanitário ou de sistemas particulares no manancial de captação	Beuken et al. (2008); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Captação superficial	Descarga de águas pluviais contaminadas pela intersecção com o sistema de drenagem	Vieira e Morais (2005); Beuken et al. (2008)	Externalidade
Captação superficial	Proximidade de atividades de mineração ao manancial	Beuken et al. (2008); Corrêa e Ventura (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Externalidade
Captação superficial	Contaminação, acidentes ou espalhamento de materiais perigosos durante as atividades recreativas (ex. comícios em massa, instalações esportivas, esportes motorizados, campos de corrida de cavalos, jardim zoológico, acampamentos), ou militares (exercícios de campo e áreas de treinamento)	Vieira e Morais (2005); Beuken et al. (2008); Corrêa e Ventura (2020)	Acidental
Captação superficial	Lavagem de roupas e banho na área de captação	Corrêa e Ventura (2021)	Social e cultural
Captação superficial	Obstruções na remoção de sólidos e gradeamento devido ao dimensionamento incorreto, limpeza inadequada, inundações, formação de gelo, proliferação de algas, crescimento de plantas ou vandalismo.	Beuken et al. (2008); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019)	Recursos humanos
			Social e cultural
			Técnico
Captação superficial	Floração de algas ou cianobactérias	Vieira e Morais (2005); Beuken et al. (2008);	Variabilidade

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
		Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	
Captação subterrânea	Contaminação da água por poços abandonados	Côrrea e Ventura (2020)	Externalidade
Captação subterrânea	Contaminação no equipamento de saída do poço/torneiras	Côrrea e Ventura (2020)	Técnico
Captação subterrânea	Intrusão de águas superficiais e/ou salinas em fontes de águas subterrâneas	Côrrea e Ventura (2020)	Técnico
Captação subterrânea	Contaminação de águas subterrâneas na fonte devido ao selo sanitário ineficaz em casa de bombas	Hamilton, Gale e Pollard (2006); Beuken <i>et al.</i> (2008); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018)	-Técnico
Captação subterrânea	Drenagem insuficiente e acúmulo de água no entorno do poço	Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018)	Técnico
Captação subterrânea	Presença de água estagnada ao redor do poço, devido à má drenagem	Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Captação subterrânea	Ausência de canal de drenagem em torno do mecanismo de bombeamento	Côrrea e Ventura (2020)	Técnico
Captação subterrânea	Ausência de proteção de concreto em volta do poço e/ou problema com canal de drenagem	Côrrea e Ventura (2020)	Técnico
Captação subterrânea	Ausência de tampa de proteção do poço, apresentando rachaduras ou insalubridade	Côrrea e Ventura (2020)	Técnico
Captação subterrânea	Ocorrência de poços sem parapeitos adequados	Côrrea e Ventura (2020)	Técnico
Tratamento	Bloqueio na remoção de sólidos e gradeamento devido ao tamanho		Técnico

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
	da malha da tela incorreto ou limpeza inadequada	Beuken <i>et al.</i> (2008); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019)	Recursos humanos
Tratamento	Bloqueio na remoção de sólidos e gradeamento devido a inundações, proliferação de algas ou vandalismo	Beuken <i>et al.</i> (2008); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019)	Acidental
			Social e Cultural
			Variabilidade
Tratamento	Desvio deliberado de uma etapa de tratamento	Hamilton, Gale e Pollard (2006)	Técnico
			Recursos humanos
Tratamento	Ajuste incorreto do pH (condicionamento químico inadequado da água).	Beuken <i>et al.</i> (2008); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico
Tratamento	Dosagem incorreta de reagentes	Beuken <i>et al.</i> (2008); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021); Lane <i>et al.</i> (2022)	Técnico
Tratamento	Formação excessiva de sólidos na coagulação/floculação aumentando o carregamento para os filtros	Beuken <i>et al.</i> (2008); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019)	Técnico
Tratamento	Uso de floculante ou agente de floculação inadequado	Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019)	Técnico
Tratamento	Contaminação biológica durante a floculação	Beuken <i>et al.</i> (2008);	Técnico
Tratamento	Falha no processo de coagulação devido à distribuição inadequada do fluxo de água, dosagem do coagulante, pH, gradiente, tempo de mistura, qualidade da matéria-prima.	Beuken <i>et al.</i> (2008); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
Tratamento	Redução da eficácia do filtro	Hamilton, Gale e Pollard (2006); Beuken <i>et al.</i> (2008);	Variabilidade
Tratamento	Lavagem deficiente da unidade de filtro	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico
			Recursos humanos
Tratamento	Bloqueio na filtração devido a ineficiência de manutenção e limpeza	Beuken <i>et al.</i> (2008);	Técnico
			Recursos humanos
Tratamento	Contaminação do filtro através do ar (como pólen e insetos)	Beuken <i>et al.</i> (2008);	Variabilidade
			Técnico
Tratamento	Remoção inadequada de matéria orgânica antes da aplicação de cloro.	Beuken <i>et al.</i> (2008); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico
Tratamento	Superdosagem ou subdosagem de desinfetante	Beuken <i>et al.</i> (2008); Sorlini <i>et al.</i> (2017); Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019); Li <i>et al.</i> (2020).	Técnico
Tratamento	Remoção ineficaz de contaminantes	Beuken <i>et al.</i> (2008);	Técnico
Tratamento	Mau funcionamento dos sistemas de dosagem de desinfecção	Beuken <i>et al.</i> (2008);	Técnico
Tratamento	Tempo de contato entre o reagente e a água inferior ao necessário para a reação de desinfecção	Beuken <i>et al.</i> (2008);	Técnico
Tratamento	Formação de trihalometanos ou outros subprodutos durante o processo de desinfecção	Vieira e Morais (2005); Beuken <i>et al.</i> (2008);	Técnico
Tratamento	Ineficiência da tecnologia de tratamento para remover contaminantes emergentes (por exemplo, pesticidas).	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
Tratamento	Ausência de medidas de segurança no armazenamento de produtos químicos	Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
			Recursos humanos
Tratamento	Contato indesejado dos operadores com produtos químicos	Beuken et al (2008);	Acidental
			Recursos humanos
Tratamento	Utilização de reagentes de qualidade inadequada	Vieira e Morais (2005)	Financeiro
			Técnico
Tratamento	Utilização de produtos e materiais não certificados ou contaminados	Vieira e Morais (2005)	Financeiro
			Técnico
Tratamento	Redução do nível de desempenho de tratamento da ETA decorrente de problemas técnicos	Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010)	Técnico
Tratamento	Falha elétrica	Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Tratamento	Tratamento insuficiente em razão da falha mecânica	Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019)	Técnico
Tratamento	Fluxo inadequado de água	Beuken <i>et al.</i> (2008);	Técnico
			Variabilidade
Tratamento	Falha na automatização do sistema de controle	Beuken <i>et al.</i> (2008);	Técnico
Tratamento	Baixa capacidade analítica do laboratório do prestador de serviço para monitorar a qualidade da água tratada	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Técnico
Tratamento	Inconstância na realização de análises de qualidade da água	Li <i>et al.</i> (2020)	Técnico
Tratamento	Tratamento insuficiente em razão da concepção inadequada	Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019)	Técnico
Tratamento	Inadequação do processo de tratamento em relação a qualidade da água bruta e para condições locais	Beuken et al (2008);	Técnico
Tratamento	Floração de algas e cianobactérias	Vieira e Morais (2005); Beuken <i>et al.</i> (2008); Li et al (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Variabilidade
			Técnico
Reservação	Recontaminação da água por introdução ou crescimento	Mouchtouri <i>et al.</i> (2012);	Técnico

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
	potencial de agentes microbiológicos	Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020)	
Reservação	Recontaminação da água com agentes químicos por exposição potencial a metais, resíduos de desinfecção e/ou subprodutos de desinfecção	Mouchtouri <i>et al.</i> (2012); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020)	Técnico
Reservação	Recontaminação da água por agentes físico-químicos decorrentes do desgaste nas estruturas de armazenamento e distribuição	Beuken <i>et al.</i> (2008); Mouchtouri <i>et al.</i> (2012); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Reservação	Recontaminação da água devido a erros operacionais	Beuken <i>et al.</i> (2008); Braga (2015)	Recursos humanos
			Técnico
Reservação	Recontaminação da água devido à má vedação ou rachaduras no reservatório	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Reservação	Deterioração da qualidade da água devido a baixas taxas de rotatividade ou mistura hidráulica desigual	Vieira e Moraes (2005); Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Reservação	Desinfecção deficiente após operações de reparação	Vieira e Moraes (2005); Braga (2015)	Técnico
Reservação	Problemas de inadequação da pressão	Li <i>et al.</i> (2020); Lane <i>et al.</i> (2022)	Técnico
Reservação	Danos na estrutura do reservatório devido a aumento da pressão interna	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Reservação	Inexistência de cercamento e sinalização de segurança	Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Reservação	Deficiência na limpeza e manutenção dos reservatórios	Braga (2015); Li <i>et al.</i> (2020)	Recursos humanos
			Técnico
Reservação	Frequência insuficiente de manutenção periódica dos reservatórios	Braga (2015)	Recursos humanos
			Técnico
Reservação	Insuficiência de reserva para atender as variações horárias de consumo	Braga (2015)	Técnico

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
Reservação	Curto-circuito hidráulico em reservatórios/zonas mortas	Vieira e Morais (2005)	Técnico
Reservação	Acúmulo excessivo de biofilme nas paredes do reservatório	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Reservação	Acúmulo excessivo de sedimentos no fundo do reservatório	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Distribuição	Recontaminação da água por introdução ou crescimento potencial de agentes microbiológicos	Mouchtouri <i>et al.</i> (2012); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020)	Técnico
Distribuição	Recontaminação da água com agentes químicos por exposição potencial a metais, resíduos de desinfecção e/ou subprodutos de desinfecção	Mouchtouri <i>et al.</i> (2012); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020)	Técnico
Distribuição	Recontaminação da água por agentes físico-químicos decorrentes do desgaste nas estruturas de armazenamento e distribuição	Beuken <i>et al.</i> (2008); Mouchtouri <i>et al.</i> (2012); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Distribuição	Intrusão de contaminantes na água devido à pressão negativa na rede	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Distribuição	Problemas de inadequação da pressão	Li <i>et al.</i> (2020); Lane <i>et al.</i> (2022)	Técnico
Distribuição	Existência de ponto de vazamento (perda de água)	Corrêa e Ventura (2021)	Técnico
Distribuição	Rompimento da tubulação devido a eventos extremos (tempestades, terremotos, deslizamentos de terra, congelamento e descongelamento e incidentes de tráfego)	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Acidental
Distribuição	Rompimento da tubulação devido à falta de manutenção	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Distribuição	Rompimento da tubulação devido a problemas de pressão	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Distribuição	Rede construída com material impróprio e precário estado da tubulação	Braga (2015)	Técnico

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
Distribuição	Más práticas de higiene durante a manutenção da rede	Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2021)	Recursos humanos
Distribuição	Capacidade de rede insuficiente devido ao projeto inadequado	Beuken <i>et al.</i> (2008)	Técnico
Distribuição	Superdosagem ou subdosagem de desinfetante residual	Beuken <i>et al.</i> (2008); Braga (2015)	Técnico
Distribuição	Corrupção e retirada ilegal de água	Omar <i>et al.</i> (2017); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Consumo	Uso excessivo de água durante rituais religiosos e práticas culturais	Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Consumo	Crença de que o acesso a água deveria ser gratuito e livre	Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Consumo	Crença de que a água é um meio de vida e de purificação	Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Consumo	O uso dos aspectos estéticos como substituto a segurança da água	Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Consumo	Desconhecimento dos consumidores quanto à responsabilidade pelo cuidado com a qualidade da água no interior das edificações	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Consumo	Gestão inadequada da água pelos consumidores	Li <i>et al.</i> (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Consumo	Ausência de dados epidemiológicos para fazer associações entre qualidade da água e doença.	Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Consumo	Corrupção e retirada ilegal de água	Omar <i>et al.</i> (2017); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)	Social e cultural
Consumo	Práticas ruins de armazenamento	Omar <i>et al.</i> (2017)	Social e cultural
Consumo	Recontaminação da água por introdução ou crescimento potencial de agentes microbiológicos	Mouchtouri <i>et al.</i> (2012); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020)	Externalidade
Consumo	Recontaminação da água com agentes químicos por exposição	Mouchtouri <i>et al.</i> (2012);	Externalidade

Etapa do sistema	Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Referência	Categoria
	potencial a metais, resíduos de desinfecção e/ou subprodutos de desinfecção	Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020)	
Consumo	Recontaminação da água por agentes físico-químicos decorrentes do desgaste nas estruturas de armazenamento	Beuken <i>et al.</i> (2008); Mouchtouri <i>et al.</i> (2012); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Li <i>et al.</i> (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Consumo	Falta de manutenção e mau estado das instalações internas (por exemplo, falta de lavagem dos tanques de armazenamento, vazamentos e formação de biofilme)	Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade
Consumo	Práticas inadequadas de projeto, construção e reparo de instalações hidrossanitárias	Li <i>et al.</i> (2020); Shamsuzzoha, Kormoker e Ghosh (2018); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)	Externalidade

APÊNDICE D - Perigos e eventos perigosos identificados na visita de campo com indicação dos respectivos mananciais

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência
Tubulações de esgoto e de água muito próximas (contaminação cruzada)	Córrego Ponte de Tábua		Corrêa e Ventura (2021)
	Córrego Belvedere		
	Captação do Espraiado		
Erosão, provocada por acúmulo de sedimentos, dragagem ou transporte; assoreamento; deslizamentos de terra; superfície de terra cárstica com dolinas abertas; terremotos	Monjolinho 3	Córrego dos Macacos	Beuken <i>et al.</i> (2008); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)
Proximidade de atividades agropecuárias ou de silvicultura ao manancial, com possível aplicação inadequada de fertilizantes e pesticidas e carreamento de resíduos para o manancial	Monjolinho 3	Córrego do Morungaba	Vieira e Moraes (2005); Hamilton, Gale e Pollard (2006); Beuken <i>et al.</i> (2008); Li et al (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)
		Córrego do Pires	
	Córrego do Belvedere	Córrego dos Macacos	
		Córrego São José	
		Córrego Laranja Azeda 1	
	Córrego Ponte de Tábua	Córrego Laranja Azeda 2	
		Ribeirão do Feijão	
Captação do Ribeirão do Feijão			
Presença de animais, inclusive domésticos, no entorno do manancial	Monjolinho 2		Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2021)
	Captação do Espraiado		
Proximidade de assentamentos humanos de desenvolvimento incompleto/informal ao manancial	Monjolinho 3		Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020)
Inadequação e problemas na operação da rede de esgoto	Córrego Belvedere		Beuken <i>et al.</i> (2008); Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010)
	Captação do Espraiado		
Lançamento de efluentes tratados advindos do sistema público de esgotamento		Córrego do Pires	Beuken <i>et al.</i> (2008); Corrêa e Ventura (2021)

Perigos/Eventos perigosos/Fonte de riscos	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Rio Monjolinho	Ocorrência observada na visita à sub-bacia do Ribeirão do Feijão	Referência
sanitário ou de sistemas particulares no manancial de captação			
Descarga de resíduos industriais, contendo produtos químico e/ou matéria orgânica, em cursos de água		Córrego do Morungaba	Beuken <i>et al.</i> (2008)
Descarte de resíduos sólidos nas proximidades do manancial, causando contaminação direta e/ou através de lixiviação de resíduos humanos ou de animais, inclusive o acúmulo de excrementos.	Monjolinho 1	Córrego do Morungaba	Côrrea e Ventura (2020); Pérez-Vidal, Escobar-Rivera e Torres-Lozada (2020); Corrêa e Ventura (2021)
	Monjolinho 2	Córrego dos Macacos	
	Monjolinho 3	Córrego do Pires	
	Córrego Ponte de Tábua		
Presença de carcaças de animais ao redor do manancial	Monjolinho 1		Corrêa e Ventura (2021)
Disposição de resíduos perigosos próximo ao manancial	Córrego Ponte de Tábua		Vieira e Morais (2005)
Tráfego, inclusive ferrovias, aeródromos, estradas, áreas de estacionamento e postos de gasolina próximo ao manancial, causando emissões, vazamentos e derramamento de óleo, inclusive devido a ocorrência de acidentes	Monjolinho 1	Córrego do Morungaba	Beuken <i>et al.</i> (2008)
	Monjolinho 2	Córrego do Pires	
	Córrego Ponte de Tábua		
	Córrego do Espraiado	Córrego dos Macacos	
	Córrego São Rafael		
Captação do Espraiado			
Atividades de construção com interferência no subsolo (ex. construção de hidrovias, instalações para manuseio ou armazenamento de produtos perigosos, e instalações para trabalhadores da construção)		Ribeirão do Feijão	Beuken <i>et al.</i> (2008)
Proximidade de gasoduto subterrâneo ao manancial		Ribeirão do Feijão	Identificado <i>in situ</i>



EESC • USP