

Análise de riscos ambientais no Rio Monjolinho, São Carlos - SP

Analysis of environmental risks in the Monjolinho River, São Carlos - SP

Análisis de riesgos ambientales en el Río Monjolinho, São Carlos - SP.

Gabith Sayda Quispe Apaza

Mestranda Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana (PPGEU), UFSCar, Brasil
gabith.quispe@estudante.ufscar.br

Katia Sakihama Ventura

Professora Doutora, PPGEU, UFSCar, Brasil
katiasv@ufscar.br

Denise Balestrero Menezes

Professora Doutora, PPGEU, UFSCar, Brasil
denisebm@ufscar.br

RESUMO

A urbanização, o incremento da densidade populacional, a impermeabilização do solo e a ocupação de áreas ambientalmente sensíveis ocasionam impactos negativos em áreas frágeis como os cursos de água, várzeas inundáveis e áreas de proteção dos mananciais. O objetivo foi avaliar os riscos ambientais em setores urbanizados do Rio Monjolinho no Município de São Carlos - SP. A metodologia baseou-se na identificação de riscos por visita e levantamento de campo, além da análise documental. Esses riscos identificados foram classificados em diferentes níveis por meio da aplicação da ferramenta da matriz de priorização de risco; em seguida, foram utilizadas ferramentas de gestão da qualidade e 5W1H para propor ações destinadas a reduzir os riscos por meio de uma ou mais ações preventivas. Os principais eventos perigosos identificados nesta análise, que representam um risco muito alto e exigem ações imediatas, incluem: alterações e/ou retificações no formato do curso d'água (como estrangulamentos, canalizações, galerias e pontes); pontos específicos com processos erosivos; e obras de drenagem (como bocas de lobo, redes coletoras, canais e reservatórios), frequentemente em desconformidade com o comportamento do fluxo natural do rio. As intervenções antropogênicas no rio Monjolinho estão provocando mudanças no fluxo da água, como aumento da velocidade e obstrução, resultando em vários impactos na bacia hidrográfica. Torna-se essencial buscar alternativas de mitigação para os efeitos da canalização e implementar intervenções adequadas para o leito retificado.

PALAVRAS-CHAVE: Rios urbanos. Segurança da água. Impacto ambiental

SUMMARY

The objective was to assess environmental risks in urbanized sectors of the Monjolinho River in São Carlos - SP. Urbanization, population density increase, soil sealing, and occupation of environmentally sensitive areas cause negative impacts on fragile areas such as watercourses, floodplains, and watershed protection areas. The methodology relied on identifying risks through field visits and surveys, in addition to documentary analysis. We classified these identified risks into different levels using the risk prioritization matrix tool. Subsequently, we used quality management tools and 5W1H to propose actions aimed at reducing risks through one or more preventive measures. In this analysis the main hazardous events identified as very high risk requiring immediate action, include alterations and/or rectifications in the watercourse layout (such as constriction, canalization, galleries, and bridges), specific points with erosive processes, and drainage works (such as catch basins, collector networks, channels, and reservoirs), often not aligned with the natural flow behavior of the river. Anthropogenic interventions in the Monjolinho River are causing changes in water flow, such as increased velocity and obstruction, resulting in various impacts on the watershed. It becomes essential to seek mitigation alternatives for the effects of canalization and implement adequate interventions for the rectified channel.

KEYWORDS: Urban rivers. Water safety. Environmental impact.

RESUMEN

La urbanización, el aumento de la densidad poblacional, la impermeabilización del suelo y la ocupación de áreas ambientalmente sensibles ocasionan impactos negativos en áreas frágiles como los cursos de agua, las planicies de inundación y áreas de protección de manantiales. El objetivo fue evaluar los riesgos ambientales en sectores urbanizados del Río Monjolinho en el Municipio de São Carlos - SP. La metodología se basó en la identificación de riesgos mediante visitas y levantamientos de campo, además del análisis documental. Estos riesgos identificados fueron clasificados en diferentes niveles mediante la aplicación de la herramienta de la matriz de priorización de riesgos; luego, se utilizaron herramientas de gestión de calidad y el 5W1H para proponer acciones destinadas a reducir los riesgos mediante una o más acciones preventivas. Los principales eventos peligrosos identificados en este análisis, que representan un riesgo muy alto y requieren acciones inmediatas, incluyen: cambios y/o correcciones en la forma del curso de agua (como estrangulamientos, canalizaciones, galerías y puentes); puntos específicos con procesos erosivos; y obras de drenaje (como bocas de lobo, redes colectoras, canales y embalses), a menudo en discordancia con el comportamiento del flujo natural del río. Las intervenciones antropogénicas en el río Monjolinho están provocando cambios en el flujo de agua, como aumento de la velocidad y obstrucción, lo que resulta en varios impactos en la cuenca hidrográfica. Se vuelve esencial buscar alternativas de mitigación para los efectos de la canalización e implementar intervenciones adecuadas para el lecho rectificado.

PALABRAS CLAVE: Rios urbanos. Seguridad del agua. Impacto ambiental.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento dos aglomerados urbanos em grande parte de forma desordenada, além desconsiderando a legislação ou sem padrão que considere as fragilidades do meio, resulta em ocupações caóticas, favelas, áreas com poluição das águas, inundações, escorregamentos, degradação urbana e outros problemas a ela associados (MARICATO, 2002). Nessa perspectiva, a urbanização sem a devida ordenação é um dos grandes catalisadores que contribuem para as catástrofes associadas às mudanças climáticas, além de ser um fator que compromete ecossistemas e suas funcionalidades globais (YANG et al., 2020).

Os rios urbanos desempenham importantes serviços ecossistêmicos, incluindo regulação de cheias e purificação da água para o consumo (POSTEL; THOMPSON, 2005; JACOBI, et al., 2015). No entanto, as degradações e modificações que esses rios sofrem resultam na perda desses serviços. Intervenções diretas nos canais dos rios, como proteção das margens contra erosão, canalização e tamponamento, além da ocupação antrópica das margens, contribuem para a perda desses serviços (DELCOL, 2019). Essas intervenções frequentemente ocorrem sem padrão ou dimensionamento adequado, ignorando as características dos fluxos hídricos, o que agrava os problemas de cheias “se a cidade ocupa esse espaço, o rio o reclamará de qualquer forma e invadirá as áreas urbanizadas” (SILVA; PORTO, 2003).

A impermeabilização do solo urbano, decorrente de adensamento populacional e ocupação de áreas frágeis, como margens de rios, córregos e várzeas, causa danos aos cursos hídricos. A pressão antrópica altera a dinâmica dos rios devido à ocupação dos leitos para construção de moradias, estradas e atividades econômicas, aumentando o risco de inundação (PAPAGIANNAKI et al., 2015). O modelo de urbanização adotado em muitas cidades brasileiras, baseado na canalização de leitos fluviais, infraestrutura sanitária e sistemas viários em suas margens, promoveu a ocupação de áreas extensas de fundo de vale (CASTRO; ALVIM, 2022).

Por outro lado, o interesse em promover a Sustentabilidade e Resiliência Urbana está alinhado com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU em 2015, especialmente o ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, e o ODS 6 - Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos. Isso é fundamental para abordar questões relacionadas à qualidade da água e à gestão sustentável dos rios urbanos. Dentro deste contexto, considerando a dinâmica urbana e a importância dos rios e córregos urbanos, destaca-se a necessidade de integrar a gestão dos recursos hídricos em políticas urbanas mais abrangentes, visando assegurar cidades mais sustentáveis e resilientes para o futuro.

O rio Monjolinho é um dos principais rios que percorre a área urbana da cidade de São Carlos, município brasileiro onde a urbanização ocorreu de forma bastante rápida e sem planejamento ambiental adequado, alterando especialmente a dinâmica deste rio, sendo os trechos antropizados as áreas especialmente vulneráveis às alterações ambientais. A ocupação das margens dos rios dos espaços urbanos ocorre principalmente com fins imobiliários, muitas vezes desrespeitando a legislação.

No município de São Carlos, os principais problemas ambientais relatados há décadas são o descarte e acúmulo de resíduos sólidos, a retificação dos cursos hídricos, a supressão de vegetação nativa e de áreas de preservação permanente, a falta de áreas verdes, os processos

de erosão marginal e assoreamento de córregos e rios, a ocupação irregular, entre outros, que continuam ocorrendo atualmente e têm sido potencializados pela rápida urbanização (GONÇALVES, 1987; GASPAR, 2000; PONS, 2006). O uso do solo urbano, a canalização dos rios principais e seus afluentes e a impermeabilização das bacias mudaram o ciclo hidrológico da cidade.

O objetivo deste trabalho é servir de suporte para o debate sobre a preservação e proteção das margens do curso d'água de danos causados pela ocupação antrópica.

2 DESAFIOS URBANOS À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Os processos de urbanização e de intervenção humana no ambiente, registrados nas últimas décadas, têm exposto a sociedade a riscos e vulnerabilidades associadas ao ambiente, agravadas pela condição social (CARVALHO, 2015). Com o desenvolvimento urbano ocorre a impermeabilização do solo, aumentando o escoamento (TUCCI, 2007). O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a fluir para o canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

À medida que as margens dos rios interagem com a ocupação urbana, a população realiza intervenções de acordo com suas necessidades, muitas vezes sem considerar as características locais. Essas alterações no padrão de escoamento na zona urbana resultam em redução significativa das vazões de base e do tempo de concentração da bacia, além de contribuir para a eliminação da maioria dos habitats dos ecossistemas fluviais, devido às obras de canalização e retificação (SILVA *et al.*, 2003; BRENNER, 2016).

Muitos estudos concluem que a adaptação às mudanças climáticas demandará conjuntos dinâmicos de diferentes tipos de conhecimento - científico, técnico, local e tácito referentes a problemas complexos e interconectados ao longo do espaço e do tempo. O planejamento em desconformidade com entendimento interdisciplinar do entorno da cidade levou à ocupação de áreas impróprias, aumentando as inundações e agravando a contaminação das águas devido à falta de infraestruturas de saneamento, como tratamento de esgotos e gestão adequada dos resíduos urbanos (RUTKOWSKI, 1999; DOS SANTOS, 2004; FRANCO, 2005; TRAVASSOS, 2005; ALVIM, 2006). O Brasil não possui um programa sistemático de proteção contra inundações que considere vários aspectos deste sistema complexo (TUCCI, 2007).

A Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (SRHU), vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, implementou normas e instrumentos para uma gestão sustentável das águas urbanas, com foco na prevenção de enchentes e na proteção de vidas e patrimônio. Essas medidas incluem o aprimoramento de soluções de drenagem urbana, a promoção de sistemas de drenagem inovadores, a restauração de rios e córregos, e a criação de parques fluviais para controlar a ocupação de margens em Áreas de Preservação Permanente (MMA, 2017). Essas iniciativas permitiram o planejamento de estratégias para revitalizar e recuperar rios e córregos urbanos, visando melhorar a qualidade ambiental dessas áreas. Atualmente, há um crescente interesse na construção de resiliência urbana no planejamento de cidades sustentáveis, com o objetivo de antecipar falhas e realizar projeções estratégicas (FEAGAN *et al.*, 2019).

O rio Monjolinho, objeto da pesquisa, é um importante curso de água de São Carlos, no qual desaguam os córregos Santa Maria do Leme no limite norte do trecho ao lado do

Kartódromo, o córrego do Tijuco Preto na margem esquerda, e o córrego do Mineirinho e o córrego do Gregório ao lado da rotatória do Cristo Redentor no extremo jusante da área de estudo. Ao longo do rio Monjolinho observa-se trechos canalizados e naturais, uma série de outras retificações do curso d'água e avenidas marginais; intervenções estas que foram realizadas e continuam sendo feitas, algumas outras que já foram destruídas em períodos de chuva intensa.

O avanço dos processos erosivos nas áreas urbanas resulta na deterioração da infraestrutura, com a intensificação dos fluxos de água capaz de desestabilizar os canais e gerar erosões aceleradas, em vez de promover um equilíbrio sustentável (TRIMBLE, 1997). A erosão das margens dos rios causa uma incisão substancial que afeta as mudanças morfológicas dos canais (CAMPOREALE et al., 2013). As erosões marginais são aquelas formadas nas margens dos córregos e rios devido ao aumento do volume de água dos mesmos (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Uma classificação dos eventos perigosos que pode ser adotada para a avaliação de recursos hídricos foi sistematizada por tipo de risco (DAGNINO; JUNIOR, 2007):

- Riscos naturais (RN): Relativos ao meio natural e associados a processos que fazem parte da dinâmica natural, resultantes da interação dos elementos naturais (geologia, geomorfologia, solos, clima, entre outros), podendo ser induzidos e intensificados pelo homem;
- Riscos construídos (RC): Referem-se às transformações espaciais construídas sobre o espaço natural, vinculadas à ocupação socioeconômica produtiva, especializada pelas edificações prediais, infraestrutura viária, infraestrutura sanitária, e afins, que geram impactos ao ambiente, de maior ou menor monta, especialmente se edificadas em locais ambientalmente inadequados;
- Riscos sociais (RS): Relativos às características da sociedade local, como escolaridade, idade, renda, cultura e afins, os quais possibilitam entender as diversas formas de organização retratada na bacia;
- Riscos produtivos (RP): Respeito às atividades econômicas e às atividades não econômicas desenvolvidas em uma bacia. Os riscos produtivos podem ser mensurados a partir de informações das atividades produtivas desenvolvidas na bacia e suas formas de produção.

A identificação, a classificação e a análise destes eventos perigosos podem contribuir para o entendimento e desenvolvimento de ações adaptativas.

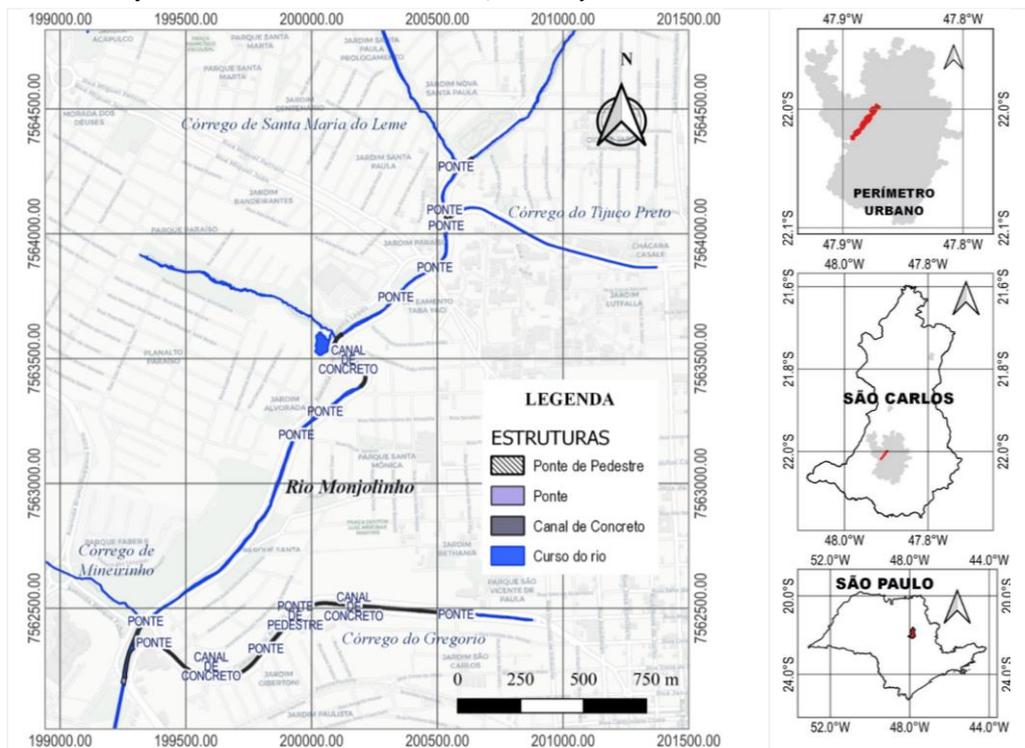
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

São Carlos é uma cidade brasileira de porte médio, situada na região central do Estado de São Paulo, entre os paralelos 21°57' e 22°06' de latitude sul e os meridianos 47°50' e 48°05' de longitude oeste, contando em 2022 com uma população estimada 254.822 habitantes (IBGE, 2022). O município de São Carlos tem uma pontuação do Índice de Desenvolvimento Sustentável geral de 57,78 de 100, que representa um nível médio, tendo nos aspectos do ODS 6 (Água Potável e Saneamento) pontuação de 85.21 (nível muito alto) e do ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis) pontuação de 70.87 (nível alto) (PCS et al., 2023).

A bacia hidrográfica do rio Monjolinho, apresenta uma área de 275 km², com maior parte contida no município de São Carlos (CAMPANELLI, 2012). O rio Monjolinho de classe 2, possui extensão de aproximadamente 43,25 km. O segmento objeto desta análise (Figura), está entre a junção dos córregos Santa Maria do Leme, Tijuco Preto, Mineirinho e Gregório com o Rio

Monjolinho, em trecho de ocupação urbana do município; o trecho estudado possui um comprimento aproximado de 2,58 km de leito (Figura 1). A bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, que corresponde à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 13), inclui o rio Monjolinho, abrangendo uma área de 273,77 km², que compreende a drenagem da zona urbana do município, tem uma disponibilidade hídrica de 1.966, 61 m³/hab.ano (CBTH-TJ, 2016), sendo este de classificação regular (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

Figura 1 - Delimitação da área de estudo no São Carlos, Rio Monjolinho

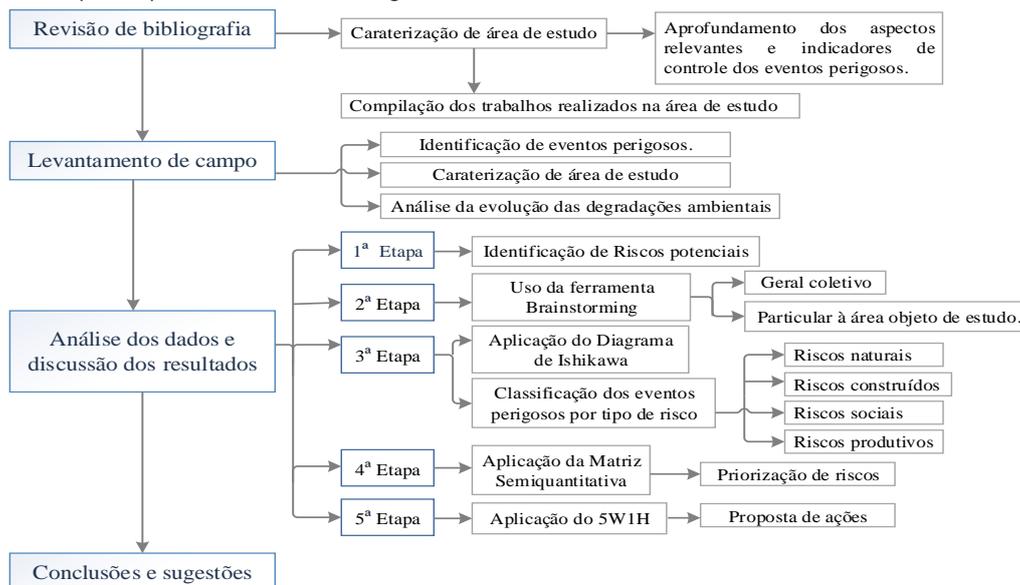


Fonte: Elaboração própria (2024).

4 MATERIAIS E MÉTODO

O detalhamento do procedimento metodológico para a execução desta pesquisa é apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 2 - Etapas do procedimento metodológico



Fonte: Elaboração própria (2024).

Após avaliação do referencial teórico foi possível propor a utilização da Matriz de Priorização de Riscos.

Na primeira etapa foram identificados os fatores de risco potencial ao curso d'água urbano do rio Monjolino da visita e levantamento de campo e por meio da revisão bibliográfica, que possibilitou o aprofundamento dos aspectos relevantes e indicadores de controle dos eventos perigosos na área de estudo. Esse levantamento contribuiu, na primeira etapa na identificação de eventos perigosos na visita a campo.

Na segunda etapa procedeu-se o uso da ferramenta *Brainstorming* coletivo para a identificação de eventos perigosos aos recursos hídricos, para depois abordar de maneira particular à área objeto de este estudo.

Na terceira etapa procedeu-se a elaboração do Diagrama de Ishikawa classificando os eventos perigosos por tipo de risco.

Na quarta etapa incluiu-se a revisão de dados, publicações pertinentes da área de estudo e estudos e pesquisas realizadas, envolvendo experimentos e opiniões de especialistas, atribuiu-se valores numéricos às probabilidades de um perigo/ evento perigoso a ocorrer e a severidade das consequências, estes valores constituem a base qualitativa ou quantitativa, de modo que do cruzamento resulte produto numérico por meio da matriz de priorização de risco (

Quadro 1), sendo a matriz de risco é construída pela composição das variáveis severidade e frequência, podendo ser dividida em regiões que caracterizam os níveis de risco avaliados.

Quadro 1 - Matriz Semiquantitativa para priorização de riscos

| Probabilidade de ocorrência do evento | Severidade ou consequência do evento | | | | |
|--|--------------------------------------|-------|----------|-------|-------------|
| | Insignificante | Baixa | Moderada | Grave | Muito grave |
| Quase certo | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| Muito frequente | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| Frequente | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| Pouco frequente | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Raro | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Pontuação do risco | | <6 | 6-9 | 10-15 | >15 |
| Classificação do risco | | Baixo | Médio | Alto | Muito Alto |
|  Muito alto: risco extremo e não tolerável; necessidade de ação imediata.  Alto: risco alto e não tolerável; necessidade de especial atenção.  Médio: risco moderado; necessidade de atenção.  Baixo: baixo risco e tolerável, controlável por meio de procedimentos de rotina. | | | | | |

Fonte: Vieira; Morais (2005); WHO (2011)

Foram analisadas as interações, riscos e vulnerabilidades que repercutem sobre os recursos hídricos, após os eventos perigosos serem organizados por classe (do maior para o menor risco).

A quinta etapa compreendeu a proposição de medidas para minimizar os principais desafios e apontar as decisões de cada questão apresentada pela ferramenta 5W2H (Quadro 2), procedendo-se à elaboração da planilha baseada nas respostas. Em seguida, foi elaborada uma planilha com base nas respostas, para as quais foram definidas ações na etapa seguinte. Essas ações visam possibilitar o planejamento de soluções para lidar com as situações de alto ou muito alto risco identificadas.

Quadro 2 - Exemplo de estruturação da matriz 5W2H

| Fraqueza: Identificação do Problema | |
|-------------------------------------|---|
| What (O que será feito?) | Apresenta a atividade a ser realizada. |
| Where (Onde será feito?) | Estabelece o local da realização da atividade. |
| Why (Por quê?) | Apresenta a justificativa da realização da atividade. |
| Who (Quem fará?) | Aponta pessoas, setores e instituições envolvidas na atividade. |
| When (Quando será feito?) | Indica o período, a época ou o tempo de realização da atividade. |
| How (Como será feito?) | Indica o método e os procedimentos envolvidos na realização da atividade. |
| How much (Quanto custará?) | Estima o custo da realização da atividade. |

Fonte: Adaptado de Silveira, Martelli e Oliveira (2016); Machado (2012); Werkema (1995).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rio Monjolinho passou por um importante processo de reformulação urbana. Houve a implantação de sistemas para evitar inundações, erosões e assoreamentos, construção de interceptores dos sistemas de saneamento e infraestrutura viária, sem consideração das características naturais dos cursos hídricos e suas planícies de inundação (

Quadro 3).

Quadro 3 - Observações de campo para os pontos do trecho de análise

| | |
|--|---|
|  <p>17 de jun de 2023 2:33:13 PM 22.0009S 47.8995W 71°N Altitude: 791.0m #Seções de monitorio Número do índice: 153</p> |  <p>17 de jun de 2023 2:41:50 PM 22.0027S 47.9004W 66°NE 2001 Avenida Trabalhador São Carlense Parque Arnold Schmidt São Carlos São Paulo Altitude: 776.0m #Seções de monitorio Número do índice: 160</p> |
| <p>Descrição: Foz do Córrego Santa Maria do Leme no Rio Monjolinho. Próximo ao Kartódromo, na junção com a Av. Eliza Gonzáles Rabelo; grande ocupação em seu entorno com residências, comércio, shopping center próximos e nas desembocaduras.</p> | <p>Descrição: Foz do Córrego do Tijuco Preto no Rio Monjolinho, ambos canalizados em seções retangulares abertas de concreto. Na Av. Trabalhador São-Carlense, Parque Arnold Schmidt, próximo à USP.</p> |
|  <p>17 de jun de 2023 2:43:02 PM 22.0028S 47.9005W 233° SW 2640 Avenida Francisco Pereira Lopes Parque Arnold Schmidt São Carlos São Paulo Altitude: 780.0m #Seções de monitorio Número do índice: 162</p> |  <p>17 de jun de 2023 3:00:03 PM 22.0051S 47.9023W 83° E Altitude: 786.0m #Seções de monitorio Número do índice: 172</p> |
| <p>Descrição: Margem da Av. Francisco Pereira Lopes no Parque Arnold Schmidt. Fim do trecho canalizado de tipo retangular; observasse áreas erodidas com evidências de tentativas de controle com concreto lançado. Também foi observada a presença de lixo e outros resíduos descartados em sua margem.</p> | <p>Descrição: Margem da Av. Francisco Pereira Lopes. Margens do rio neste trecho estão relativamente preservadas, com presença de mata ciliar; o Rio Monjolinho escoa em canal aberto e seção natural. A margem esquerda está delimitada pela Av. Francisco Pereira Lopes.</p> |
|  <p>17 de jun de 2023 3:15:53 PM 22.0086S 47.9040W 59° NE 843 Rua Professor Ernfrid Frick Jardim Paraíso São Carlos São Paulo Altitude: 779.0m #Seções de monitorio Número do índice: 178</p> |  <p>17 de jun de 2023 3:15:58 PM 22.0086S 47.9040W 276° W 843 Rua Professor Ernfrid Frick Jardim Paraíso São Carlos São Paulo Altitude: 779.0m #Seções de monitorio Número do índice: 179</p> |
| <p>Descrição: Intersecção da Rua Professor Ernfrid Frick e a Av. Francisco Pereira Lopes no Jardim Paraíso; neste trecho o curso de água está canalizado em uma seção retangular aberta, sendo esta a seção final de trecho sinuoso, localizada na margem direita e a Av. Francisco Pereira Lopes na margem esquerda.</p> | <p>Descrição: Intersecção da Rua Professor Ernfrid Frick e a Av. Francisco Pereira Lopes no Jardim Paraíso. Trecho apresenta tentativas de controle de erosão com revestimento de concreto lançado sobre o leito rochoso da margem esquerda que está bem próxima à avenida marginal, margem direita com mata ciliar.</p> |

Fonte: Autoria própria, 2024.

A ocupação urbana e a falta de manutenção dos canais fazem com que a cidade sofra até hoje com inundações, gerando situações de risco e vulnerabilidade. Na área estudada há canalizações e retificações de leitos, infraestrutura viária, obras de arte e de drenagem urbana. Estas desviaram e modificaram o fluxo natural das águas do rio para o aproveitamento das áreas de fundo de vale, enquanto garantiram a fluidez e velocidade da drenagem urbana e a funcionalidade do sistema viário. No entanto as águas retornam nos ciclos constantes de cheias, causando inundações; processo que se agravou com a expansão e o adensamento da mancha

urbana.

Com os eventos elencados no diagrama de Ishikawa, utilizou-se a metodologia proposta por WHO (2011), para a elaboração da matriz de priorização de riscos (Quadro 4). A matriz tem a finalidade de priorizar os riscos de baixo a alto e, quando for detectado risco alto acima de dez pontos.

Quadro 4 - Matriz de priorização de riscos para o objeto de estudo

| TIPO DE RISCO | EVENTO PERIGOSO | PROBABILIDADE | SEVERIDADE | PONTUAÇÃO DO RISCO |
|--|---|-----------------|----------------|--------------------|
| RISCOS CONSTRUÍDOS | Alterações e/ou retificações no formato do curso d'água (Estrangulamento, Canalização, galerias, Pontes). | Muito frequente | Grave | 16 |
| | Incremento da Impermeabilização do solo em área de aporte da bacia hidrográfica. | Muito frequente | Grave | 16 |
| | Obras de drenagem (bocas de lobo, redes coletoras, canais, reservatórios, outros) muitas vezes em desconformidade com o comportamento do fluxo natural do curso d'água. | Muito frequente | Grave | 16 |
| | Descarte e acúmulo de resíduos sólidos em geral (sedimentos, rejeitos de construção, excreta de animais, outros). | Frequente | Grave | 12 |
| | Parte do percurso ausente de mata ciliar. | Muito frequente | Moderada | 12 |
| | Exposição do solo (solo nu) ou sem vegetação. | Frequente | Grave | 12 |
| | Carreamento de contaminantes por escoamento superficial. | Frequente | Grave | 12 |
| | Obras de manutenção corretiva mau dimensionadas ou executada em desconformidade/ sem padrão. | Frequente | Moderada | 9 |
| | Destruição de calçamento das margens do córrego. | Frequente | Moderada | 9 |
| | Presença de postos de combustíveis nas proximidades. | Pouco frequente | Grave | 8 |
| | Presença de ruídos excessivos pelos veículos automotores. | Muito frequente | Insignificante | 4 |
| | Presença de ocupação/ construções irregulares no entorno. | Raro | Grave | 4 |
| RISCOS NATURAS | Presença de pontos específicos com processo erosivos ao longo do curso d'água. | Muito frequente | Grave | 16 |
| | Assoreamento em pontos específicos do corpo hídrico. | Frequente | Grave | 12 |
| | Alteração nas características perceptíveis da água (cor, odor, turbidez) e presença de odor desagradável. | Frequente | Grave | 12 |
| | Exposição do solo (solo nu) ou sem vegetação. | Frequente | Grave | 12 |
| | Ausência de vida aquática (peixes, outros). | Quase certo | Baixa | 10 |
| | Parte do percurso ausente de mata ciliar. | Frequente | Moderada | 9 |
| | Ocorrência de eventos de inundações, enchentes e alagamentos. | Frequente | Moderada | 9 |
| Crescimento de vegetação imprópria ao longo do curso do rio. | Pouco frequente | Moderada | 6 | |
| RISCOS SOCIAIS | Ausência de manutenção das áreas verdes nas margens do rio. | Frequente | Grave | 12 |
| | Existência de área preservada e APP não respeitadas. | Pouco frequente | Muito grave | 10 |
| | Poucas iniciativas de implantação de educação ambiental. | Frequente | Moderada | 9 |
| | Presença de ruídos excessivos pelos veículos automotores. | Muito frequente | Baixa | 8 |
| | Vandalismo e Sabotagem e percepção de insegurança nas margens. | Frequente | Baixa | 6 |
| | Presença de ocupação e construções irregulares no entorno. | Raro | Grave | 4 |
| Área próxima ou pertencente a ambientes de recreação. | Frequente | Insignificante | 3 | |
| RISCOS PRODUTIVOS | Alterações e/ou retificações no formato do curso d'água (Estrangulamento, Canalização, Pontes). | Muito frequente | Grave | 16 |
| | Material artificial compoendo o leito do rio (concreto, rejeitos de construção, outros). | Frequente | Grave | 12 |
| | Presença de postos de combustíveis nas proximidades. | Pouco frequente | Grave | 8 |
| | Presença de criação de animais aves no entorno. | Pouco frequente | Baixa | 4 |
| | Presença de ruídos excessivos pelos veículos automotores. | Muito frequente | Insignificante | 4 |

5.1 Proposição de melhorias para qualidade dos recursos hídricos e ocupação urbana

Os perigos devem ser mitigados através de ações preventivas e corretivas, envolvendo a definição de um plano de ação que considere prazos, responsabilidades e recursos necessários, como recursos humanos, infraestrutura, financeiros e técnicos. No entanto, neste estudo, os custos financeiros para a análise não foram considerados, dada a variabilidade conforme o tamanho da população, a área abrangida e os recursos disponíveis para atividades específicas.

Os riscos identificados como de alta e muito alta gravidade destacaram, mais uma vez, a influência prejudicial da ocupação antrópica inadequada nos recursos hídricos. Entre os principais eventos perigosos identificados, que representam um risco muito alto e exigem ações imediatas, estão processos erosivos marginais, alterações e/ou retificações no formato do curso d'água, e deficiências na manutenção das margens e obras de drenagem. Portanto, os riscos identificados na matriz semiquantitativa, classificados como de alto e muito alto risco, foram priorizados para este estudo (Quadros 5, 6 e 7). Para abordar esses riscos, foram elaborados planos de ação com o intuito de reduzir ou erradicar sua frequência de ocorrência e mitigar os impactos ambientais resultantes. Tais planos abrangem medidas para aprimorar a qualidade dos recursos hídricos e da ocupação urbana no entorno do rio Monjolinho. Entre as ações propostas estão:

- Capacitação, incluindo conscientização e educação ambiental através de campanhas e programas educacionais em escolas e universidades, além da promoção da participação da sociedade civil em iniciativas de preservação e recuperação ambiental, visando promover práticas sustentáveis de uso da água e desenvolvimento urbano responsável.
- Monitoramento, fundamental para fornecer informações essenciais para a identificação e correto dimensionamento dos eventos perigosos, bem como para avaliar os impactos e embasar a tomada de decisões.
- Manutenção, visando aprimorar a conservação do sistema de drenagem, preservar áreas verdes, controlar fontes de poluição e realizar a correta gestão de resíduos.
- Fiscalização, englobando o fortalecimento da aplicação das leis ambientais, visando prevenir e controlar o uso inadequado dos recursos naturais.
- Realização de estudos técnicos adequados, essenciais para fornecer informações necessárias ao planejamento e dimensionamento da infraestrutura, implementação de práticas de conservação do solo e controle de erosão, desenvolvimento de projetos de reestruturação e recuperação de áreas degradadas, adoção de tecnologias sustentáveis para o gerenciamento de águas pluviais e tratamento de efluentes, e estabelecimento de parcerias institucionais.

O Quadro 5, apresenta as ações propostas para mitigar os riscos de erosão nas margens do rio Monjolinho, considerando os aspectos de, monitoramento, manutenção, fiscalização e capacitação.

O Quadro 6, apresenta as ações considerando os aspectos de monitoramento, manutenção periódica (limpeza ou dragagem), educação ambiental e parcerias institucionais.

O Quadro 7, apresenta as ações propostas para o controle de riscos associado às retificações, onde são considerados aspectos de monitoramento, estudo ambientais de engenharia integrada, elaboração e reformulação dos projetos de reestruturação, execução e avaliação da funcionalidade.

Quadro 5 - Proposição de ações para o controle de riscos de erosão

| | | | | | |
|--------------------------|--|--|---|--|---|
| O que será feito? | Capacitar a profissionais ou Recursos Humanos para o monitoramento e mapeamento. | Avaliar e otimizar os trabalhos de manutenção corretiva da erosão nas margens. | Executar trabalhos de controle e manutenção das áreas erodidas. | Reforçar a capacidade fiscalizadora do município | Monitorar e registrar dados do mapeamento do processo erosivo. |
| Onde? | Nas salas da universidade e online. | Nos pontos reconhecidas no mapeamento. | Nos pontos identificados. | Município. | Município. |
| Por quê? | Para o, Fomento à qualificação de pessoal. | Para reduzir e promover a otimização e o uso do orçamento destinado. | Para o controle da erosão marginal. | Para evitar irregularidades e garantir a integridade e eficácia dos trabalhos. | Para o fornecer dados detalhados do processo sendo a base para uma gestão eficaz da erosão. |
| Quem? | Universidade, Secretaria de infraestrutura pública e defesa civil. | Entre especialistas da Secretaria de obras. | Entre especialistas da Secretaria de obras. | Entre especialistas da Secretaria afim. | Secretaria afim e o compartilhamento de dados ao público geral. |
| Quando? | Imediato | Imediatamente depois da ação da capacitação. | Imediatamente depois da avaliação. | Imediato. | Depois da execução e continuo cada mês. |
| Como? | Capacitação dos recursos humanos. | Com assessoramento técnico especializado. | Contratação de empresa responsável para execução. | Capacitação de RH, estabelecendo responsabilidades e roles específicos. | Monitoramento de processos erosivos mensalmente em campo e registro dos dados em (SIG). |

Quadro 6 – Proposição de ações para o controle de riscos associados a assoreamento em pontos específicos do corpo hídrico, exposição do solo (solo nu) ou sem vegetação, ausência de manutenção das áreas verdes nas margens do rio, Descarte e acúmulo de resíduos sólidos em geral e, Material artificial compondo o leito do rio

| | | | | | | | |
|--------------------------|---|---|---|---|--|--|---|
| O que será feito? | Monitorar e mapear os pontos de assoreamento, entulho e falta de manutenção. | Elaborar projeto e cronograma de manutenção do mato e limpeza e dragagem do curso d'água. | Elaborar projeto de controle do descarte irregular de resíduos. | Executar os trabalhos de controle e manutenção das margens do rio. | Reforçar a capacidade fiscalizadora do município | Monitorar e registrar os dados do mapeamento. | Implementar programas de educação ambiental |
| Onde? | Nas margens dos trechos antropizados do rio Monjolinho. | No município. | No município. | Nos pontos especificados no projeto. | Município | Município | Universidade Município e escolas |
| Por quê? | Para auxiliar a identificação, prevenção, planejamento dos trabalhos de manutenção. | Para garantir a prevenção, preservação, segurança e planejamento eficiente. | Diminuição a incidência de descarte irregular dos resíduos. | Estabilização das margens, garantir a proteção ambiental, sustentabilidade, | Gestão transparente, evitar irregularidades e acompanhar a | Para o controle de dados e registro de eventos na base de dados para o controle. | Para conscientizar a população sobre a preservação dos recursos hídricos. |

| | | | | | | | |
|----------------|--|---|--|---|---|--|---|
| | | | | evitar a obstrução do fluxo hídrico. | execução dos trabalhos. | | |
| Quem? | Secretaria de infraestrutura pública e defesa civil. | Secretaria de obras. | Secretaria de obras. | Secretaria de obras ou contratação externa. | Secretaria afim. | Secretaria afim. | Alunos da universidade, docentes e alunos das escolas. |
| Quando? | Imediato. | Imediatamente depois do monitoramento. | Imediatamente depois do monitoramento. | Imediatamente depois da elaboração do projeto. | Todo o processo. | Depois da execução da manutenção, cada mês. | 3 vezes por ano. |
| Como? | Identificando pontos de: Falta de capina e roçagem; Falta de limpeza de resíduos; Assoreamento e entulhos. | Com assessoramento técnico especializado. | Instalando pontos específicos de coleta de lixo e de câmaras de controle nos pontos identificados. | Desenvolvendo as especificações e procedimentos indicados e estabelecidos no projeto. | Capacitação dos envolvidos respeito à normativa exigida, responsabilidade e o procedimento. | Monitorando os processos de assoreamento em campo cada mês e registrando os dados num SIG. | Incentivando parcerias entre as instituições e procurando financiamento de Instituições privadas. |

Quadro 7 - Proposição de ações para o controle de riscos associados às retificações do canal (estrangulamento, canalização, construção de pontos, obras de drenagem e outros)

| | | | | | |
|--------------------------|--|---|---|--|---|
| O que será feito? | Monitorar e mapear os pontos de alteração ou retificação o curso d'água. | Elaborar o estudo da incidência das alterações antrópicas do curso de água referentes a inundação, erosão e assoreamento. | Elaborar projeto e cronograma para execução do plano de ação do dimensionamento do sistema de drenagem. | Executar os trabalhos de melhoramento do sistema de drenagem. | Monitorar e registrar os dados das melhoras registradas depois da execução dos trabalhos. |
| Onde? | Nas margens dos trechos antropizados do rio Monjolinho. | No município. | No município. | Nos pontos especificados no projeto | Município |
| Por quê? | É preciso a identificação e mapeamentos das alterações para estudos próximos. | Elaboração do projeto e adequação do dimensionamento considerando o sistema de drenagem específico. | Planeamento de procedimentos e especificações sistematizados. | Diminuição dos impactos e controle da execução segundo o cronogramas. | Avaliar a eficácia da proposta e manter dados e registros de eventos num (SIG) |
| Quem? | Secretaria de infraestrutura pública e defesa civil. | Profissionais especialista na área. | Secretaria de obras. | Secretaria de obras ou contratação externa. | Secretaria afim. |
| Quando? | Imediato | Imediatamente depois do monitoramento | Imediatamente depois do estudo. | Imediatamente depois da elaboração do projeto. | Imediatamente depois da ação Execução e continuo cada mês. |
| Como? | Registrando as características e alterações do rio, incluindo estruturas de interferência. | Com os dados do monitoramento com assessoramento técnico especializado. | Com assessoramento técnico especializado. | Desenvolvendo especificações e procedimentos de acordo com projeto e cronograma. | Mensurando a diminuição dos impactos dos processos de assoreamento e erosão em campo. |

6 CONCLUSÕES

O artigo analisou os riscos ambientais na área urbanizada do Rio Monjolinho, em São Carlos - SP, utilizando ferramentas de gestão da qualidade e matriz de priorização de risco. Identificamos os principais eventos perigosos, tais como alterações no curso d'água, erosão, gestão inadequada de resíduos sólidos e obras de drenagem inadequadas. Esses riscos acarretam diversos impactos na bacia hidrográfica, incluindo aumento da velocidade da água, obstrução do fluxo e erosão, além de potencializarem problemas ambientais, econômicos e de saúde pública.

O estudo sugeriu a necessidade de ações imediatas e preventivas, incluindo a busca por alternativas de mitigação para os efeitos da canalização e intervenções adequadas para o leito retificado das margens.

Por fim, este estudo se propôs a contribuir com o debate sobre a preservação e proteção das margens do curso d'água contra danos causados pela ocupação antrópica, enfatizando a necessidade de o município de São Carlos se preparar melhor e adotar ações preventivas imediatas para alcançar as ODS 6 e 11, visando atingir a resiliência urbana.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), sob o código de financiamento 001.

7 REFERÊNCIAS

- ALVIM, A. T. B. A contribuição do Comitê do Alto Tietê à gestão da bacia metropolitana entre 1994 e 2002. **PosFAUUSP**, n. 19, p. 26–44, 2006.
- BRENNER, V. C. **Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do Rio Gravataí -RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- CAMPANELLI, L. C. **Zoneamento (geo) ambiental analítico da bacia hidrográfica do Rio do Monjolinho São Carlos (SP)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2012.
- CAMPOREALE, C. et al. Modeling the Interactions Between River Morphodynamics and Riparian Vegetation. **Reviews of Geophysics**, v. 51, n. 3, p. 379–414, 2013.
- CARVALHO, M. E. S. Riscos e vulnerabilidades socioambientais na bacia costeira do rio Vaza Barris/Sergipe/Brasil: contribuições para o planejamento e gestão ambiental. **Anais [...] VIII Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**.
- CASTRO, A. C. V. D.; ALVIM, A. T. B. Urbanização e gestão de riscos hidrológicos em São Paulo. **Cadernos Metrópole**, v. 24, n. 54, p. 669–696, ago. 2022.
- CBTH-TJ, COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-JACARÉ. **Plano Da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré Relatório II: Fundo Estadual De Recursos Hídricos (FEHIDRO)**. São Paulo: 2016. Disponível em: <<https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-TJ/13655/plano-de-bacia-relatorio-ii.pdf>>.
- DELCOL, R. F. R. **Expansão urbana em Áreas de Preservação Permanente - APP: o caso de São Carlos-SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2019.
- DOS SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo, Oficina de textos, 2004.
- FALKENMARK, M.; WIDSTRAND, C. Population and water resources: a delicate balance. **Population Bulletin**, v. 47, n. 3, p. 1–36, 1992.
- FEAGAN, M. et al. Redesigning knowledge systems for urban resilience. **Environmental Science & Policy**, v. 101, p. 358–363, nov. 2019.

FRANCO, F. DE M. **A construção do caminho: a estruturação da metrópole pela conformação técnica das várzeas e planícies fluviais da Bacia de São Paulo**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

GASPAR, W. J. **Análise do processo erosivo do loteamento social Antenor Garcia: proposta para expansão do bairro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2000.

GONÇALVES, A. R. L. **Geologia ambiental da área de São Carlos**. Tese (Doutorado em Geologia Geral e de Aplicação) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

IBGE. **Censo Demográfico 2022**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P.; SILVA-SÁNCHEZ, S. Governança da água e inovação na política de recuperação de recursos hídricos na cidade de São Paulo. **Cadernos Metrópole**, v. 17, p. 61–81, maio 2015.

MACHADO, S. S. **Gestão da qualidade**. Inhumas - GO: Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

MARICATO, E. **Dimensões da tragédia urbana**. Comciência. 2002. Disponível em: <https://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/cidades/cid18.htm>. Acesso em: 13 ago. 2023

MMA, A. **Controle de Inundações**. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (SRHU). Disponível em: <http://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/8046-control-de-inunda%C3%A7%C3%B5es.html>. Acesso em: 25 jan. 2024.

PAPAGIANNAKI, K. et al. Flash flood occurrence and relation to the rainfall hazard in a highly urbanized area. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 15, n. 8, p. 1859–1871, 2015.

PCS et al. **IDSC - BR Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil**. Disponível em: <https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/profiles/3548906/>. Acesso em: 8 ago. 2023.

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, com auxílio de geoprocessamento**. Tese (Doutorado em Geotecnia) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2006.

POSTEL, S. L.; THOMPSON, B. H. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. **Natural Resources Forum**, v. 29, n. 2, p. 98–108, 2005.

RUTKOWSKI, E. **Desenhando a bacia ambiental: subsídios para o planejamento das águas doces metropolitanizadas**. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SILVA, R. C. V. et al. **Hidráulica Fluvial**. COPPE/UFRJ, 2003.

SILVA, R. T.; PORTO, M. F. DO A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**, v. 17, p. 129–145, 2003.

SILVEIRA, H. E. DA; MARTELLI, R.; OLIVEIRA, V. V. DE. A implantação da ferramenta 5W2H como auxiliar no controle da gestão da empresa agropecuária São José. **Revista de Administração do Sul do Pará**, v. 3, n. 2, p. 68–80, 2016.

TRAVASSOS, L. R. F. C. **A dimensão socioambiental da ocupação dos fundos de vale urbanos no município de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

TRIMBLE, S. W. Contribution of Stream Channel Erosion to Sediment Yield from an Urbanizing Watershed. **Science**, v. 278, n. 5342, p. 1442–1444, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Abrh/Editora, 2007.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. L. DE. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Abrh/Editora da Universidade/Ufrgs, 1995.

VIEIRA, J. M. P.; MORAIS, C. **Planos de segurança em sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano**. Série Guias Técnicos, n. 7. Portugal: Universidade do Minho e Instituto Regulador de Águas e Resíduos, 2005.

WERKEMA, M. C. C. As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos. Em: **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. p. 128.

WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4. ed. Geneva: World Health Organization, 2011.