

RELATÓRIO TÉCNICO DE BOLSAS ACADÊMICAS
EDITAL DE CHAMADA PÚBLICA FAPESC Nº 20/2024 – PROGRAMA FAPESC DE
FOMENTO À PÓS-GRADUAÇÃO EM INSTITUIÇÕES DE EDUCAÇÃO SUPERIOR DO
ESTADO DE SANTA CATARINA BOLSAS PÓS-DOCTORADO

1. IDENTIFICAÇÃO DO RELATÓRIO

1.1. Modalidade da Bolsa:	
☐ Iniciação Científica ☐ Especialização <i>lato sensu</i> ☐ Mestrado ☐ Doutorado	☒ Pós-Doutorado ☐ Mestrado Sanduíche no exterior ☐ Doutorado Sanduíche no exterior ☐ Pós-Doutorado Sanduíche no exterior
1.2. Tipo de Relatório Técnico:	
☐ Parcial ☒ Final	
1.3. Período do Relatório Técnico:	
☐ 01º período ☒ 02º período ☐ 03º período ☐ 04º período ☐ 05º período	☐ 06º período ☐ 07º período ☐ 08º período ☐ 09º período ☐ 10º período
1.4. Data inicial e final deste período:	
02/01/2025 a 31/07/2025	

2. DADOS DO(A) BOLSISTA

2.1. Nome do(a) bolsista:
Jakcemara Caprario
2.2. Nome do(a) orientador(a):
Alexandra Rodrigues Finotti
2.3. Curso:
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA
2.4. Instituição de ensino:
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
2.5. Cidade:
Florianópolis - SC
2.6. Área de concentração:
Engenharias; Ciências Exatas e da Terra
2.7. Linha de estudo:
Hidrologia, Hidrodinâmica e Recursos Hídricos
2.8. Título do trabalho:
Impacto de Parques Lineares no controle de enchentes e inundações em bacias urbanas
2.9. Defesa do trabalho (ou previsão) no dia/mês/ano:
31/07/2025

3. PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Descreva brevemente atividades complementares, cursos de extensão, participação em eventos, produção técnica e artística/cultural, tecnologias desenvolvidas, entre outros. Por gentileza, formate a apresentação dessas informações de maneira que se assemelhe à disposição encontrada no Currículo Lattes.

Dentre as atividades desenvolvidas durante o período da bolsa, a pesquisadora colaborou com a publicação de um **resumo expandido** em evento internacional, a organização de um

curso de capacitação e a concepção de **dois artigos científicos do grupo de pesquisa** ao qual está vinculada, ambos atualmente em processo de revisão por pares. Também colaborou com a aprovação de **quatro capítulos de livro** em evento internacional, que serão publicados no volume *Adapting the World to a Changing Climate*, e com **dois artigos completos aprovados nos Anais** do XIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto (ENSUS 2025), sendo um deles já **publicado na revista IMPACT Projects**. Além das atividades de colaboração, a pesquisadora aprovou, como autora principal, **um artigo na revista DAE** e **dois capítulos de livro** no mesmo evento internacional, os quais estão também sob avaliação para publicação na revista *International Journal of Climate Change Strategies and Management*.

Em conformidade com o item 10.3 do edital FAPESC Nº 20/2024, que estabelece como requisito final o envio de pelo menos um artigo indexado na base de dados Web of Science (Quartile 1) ou uma patente com potencial de promover transferências de tecnologias e/ou políticas públicas, destaca-se que o artigo intitulado **Land Use regulations assessment on the impacts on urban river systems**, submetido à **revista Land Use Policy**, encontra-se em fase final de revisão. A referida revista é indexada na base **Web of Science** e classificada no Quartil 1 (Q1) em sua área temática, atendendo diretamente à exigência do edital.

Detalhes adicionais das atividades desenvolvidas, conforme modelo do Currículo Lattes, são apresentados a seguir.

SANTANA, P. L.; BROERING, S. B.; CAMPOS, P. B.; **CAPRARIO, J.**; UDA, P. K. ; FINOTTI, A. R. Methods for Estimating the Contribution of Unwater water in Sewer Networks: A Systematic Review. In: Proceeding of the 17th IWA Conference on Small Water and Wastewater Systems and the 9th IWA Conference on Resource-Oriented Sanitation. Curitiba, PR: IWA – International Water Association, 2024. ISBN 978-65-990271-9-2

BERNARDO, J. A.; RECH, B.; TSUIJ, T. M; BEDUSCHI, L. H.; **CAPRARIO, J.**; UDA, P. K.; FINOTTI, A. R. Curso de Capacitação em Manejo Sustentável de Águas Pluviais Urbanas. Realizado no período de 24/02/2025 a 28/02/2025. Carga horária: 15h. (**Organização de evento**). Organização do Curso de Capacitação em Manejo Sustentável de Águas Pluviais Urbanas (23h), tendo como público-alvo funcionários da Prefeitura Municipal de Florianópolis. O curso buscou capacitar os participantes com conhecimentos teóricos e práticos sobre a gestão e manejo das águas pluviais urbanas, integrando aspectos técnicos, sociais e institucionais para promover soluções inovadoras e sustentáveis.

BERNARDO, J. A.; **CAPRARIO, J.**; dos Santos, J.; UDA, P. K.; FINOTTI, A. R. Trends in precipitation extremes and their implications for water management in developing countries. **Revisão por pares.** [O artigo foi submetido para a revista Theoretical and Applied Climatology e está em processo de revisão por pares.](#) **Indexação Scopus.**

SANTANA, P. L.; **CAPRARIO, J.**; UDA, P. K.; FINOTTI, A. R. Land Use regulations assessment on the impacts on urban river systems. **Major review.** [O artigo está em processo de ajuste após primeira revisão por pares pela revista Land Use Policy.](#) **Indexação Web of Science e Scopus.**

MAGALHÃES, V. B. de S.; **CAPRARIO, J.**; FINOTTI, A. R. Impacts of the New Master Plan of Florianópolis on Runoff Discharge in the Tavares River: Climate Projections and Mitigation Strategies. [Está sendo considerado para publicação até final do ano como capítulo do livro Adapting the World to a Changing Climate.](#)

BERNARDO, J. A.; STRACK, C.; **CAPRARIO, J.**; UDA, P. K.; FINOTTI, A. R. Rodrigues. Climate Change and IDF Relationships: Rising Exposure to Extreme Rainfall in Florianópolis, Brazil. [Está sendo considerado para publicação até final do ano como capítulo do livro Adapting the World to a Changing Climate.](#)

SANTANA, P. L.; **CAPRARIO, J.**; UDA, P. K. FINOTTI, A. R. Temporal Analysis of Drought and Wetness Trends Based on SPI and Downscaled Climate Projections. [Está sendo considerado para publicação até final do ano como capítulo do livro **Adapting the World to a Changing Climate**.](#)

SCHUCK, A.; ZIR, D.; DUMS, W.; HENNERICH, J. E.; CECHIN, L.; POVALUK, M.; WEINSCHUTZ, L. C.; **CAPRARIO, J.** Assessing the Impact of Temperature Variation on Cold Climate Crops in Santa Catarina. [Está sendo considerado para publicação até final do ano como capítulo do livro **Adapting the World to a Changing Climate**.](#)

SCHUCK, A.; **CAPRARIO, J.**; Mores, R.; CECHIN, L.; POVALUK, M. Investimento em Obras de Saneamento Básico no Brasil de 2018 a 2022 e suas Projeções In: ENSUS 2025 - XIII Encontro de Sustentabilidade em Projetos, 2025, Florianópolis. **Anais do XIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto (ENSUS 2025)**. 2025.

LORENZATTO, D.; MORES, R.; **CAPRARIO, J.**; SCHUCK, A. Princípios da economia circular aplicados na execução de Obra de interesse social In: ENSUS 2025 - XIII Encontro de Sustentabilidade em Projetos, 2025, Florianópolis. **Anais do XIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto (ENSUS 2025)**. 2025.

Lorenzatto, D.; Mores, R.; **CAPRARIO, J.**; SCHUCK, A. Princípios da economia circular aplicados na execução de obra de interesse social. IMPACT PROJECTS. v.4, p.31-48, 2025.

CAPRARIO, J.; SANTANA, P. L.; WU, F. K.; MONTEIRO, P. C. dos S.; FINOTTI, A. R. Cadastro Técnico de Drenagem: uma base para o manejo integrado das águas pluviais. Revista de Departamento de Águas e Esgotos - DAE. v.73, p.01-15, 2025. **Indexação DOAJ**.

CAPRARIO, J.; SANTANA, P. L.; SCHUCK, A.; BERNARDO, J. A.; CAPRARIO, G. N.; FINOTTI, A. R. Pluvial Flooding Resilience Index – A Tool to Support Urban Planning and Climate Adaptation. [Está sendo considerado para publicação até final do ano como capítulo do livro **Adapting the World to a Changing Climate**.](#)

CAPRARIO, J.; SANTANA, P. L.; BERNARDO, J. A.; CAPRARIO, G. N.; FINOTTI, A. R. Evaluating Hydraulic Vulnerabilities in Urban Stormwater Systems Under Climate Change. [Está sendo considerado para publicação até final do ano como capítulo do livro **Adapting the World to a Changing Climate**.](#)

CAPRARIO, J.; FINOTTI, A. R. Linear Parks as a Strategy to Protect Fluvial Areas and Control Urban Flooding. [O artigo está em elaboração e será submetido para a revista **Landscape and urban planning**. Indexação Web of Science.](#)

4. INDICADORES DE CT&I

Para quantificar os resultados alcançados e os entregáveis, você deverá preencher o Formulário de Indicadores de Bolsistas, [clique aqui](#). Informar número 0 (zero) quando não houver o referido resultado. Ressalta-se que os resultados devem ser referentes ao período deste relatório. Após preencher o Formulário de Indicadores de Bolsistas você receberá por e-mail as respostas. Por favor, salve a página desse e-mail em formato PDF e encaminhe-a com este relatório técnico para o e-mail: bolsas@fapesc.sc.gov.br.

5. RESUMO DA PROPOSTA INICIAL DA PESQUISA APRESENTADO NO PLANO DE TRABALHO DA BOLSISTA

1. Interação com a Prefeitura Municipal de Florianópolis, Instituto de Mudanças Climáticas e

Comitê de Eventos Climáticos da UFSC: participar de reuniões com os diferentes setores para entender suas atividades e expectativas, identificando oportunidades de colaboração e áreas de interesse mútuo.

2. Manipulação de dados de séries temporais: usar técnicas estatísticas de manipulação de dados para conferência das séries de temperaturas, precipitação e vazão monitoradas dentro das sub-bacias de estudo, suportando as atividades de modelagem.
3. Obtenção da licença do programa de modelagem hidráulica e hidrológica (PCSWMM) com ferramenta de calibração SRTC.
4. Caracterização física das sub-bacias de estudo: obtenção de dados de tipos de solo e hidrografia, produção de dados espaciais de uso e ocupação da terra, declividade, elevação do terreno e número de deflúvio, caracterização em campo de informações hidráulicas da hidrografia canalizada.
5. Modelagem hidráulica e hidrológica e avaliação da qualidade dos resultados do modelo: realizar a modelagem do escoamento superficial das sub-bacias, calibrando o modelo e avaliando a qualidade dos resultados obtidos através de comparações com dados observados.
6. Avaliação do impacto de parques lineares no controle de enchentes e inundações: desenvolver procedimentos de inclusão dos parques lineares no modelo hidráulico hidrológico e simular impacto destes sob diferentes cenários de ausência e inclusão da infraestrutura verde e diferentes períodos de retorno (25, 50 e 100 anos).
7. Metodologia de análise do impacto e viabilidade de implantação: desenvolver protocolo de análise do impacto dos parques lineares na ocorrência de inundações urbanas; e procedimento de mapeamento das áreas viáveis de implementação.
8. Participação em reuniões, eventos técnico-científicos e atividades de campo: integrar-se nas atividades de campo e coleta de dados, quando aplicável; participar de reuniões e eventos técnico-científicos para compartilhar progressos e trocar experiências como as equipes.
9. Redação de relatórios e espacialização de resultados: Contribuir na redação de relatórios técnicos e científicos, destacando os resultados obtidos e sua aplicabilidade prática; realizar análises espaciais dos resultados para fornecer insights adicionais.
10. Elaboração e publicação de artigos científicos e técnicos: Escrever artigos científicos e técnicos baseados nos resultados das pesquisas realizadas; submetê-los para revisão e publicação em revistas científicas relevantes da área.

6. RESUMO DO ANDAMENTO DA PESQUISA NO MOMENTO DA APRESENTAÇÃO DESTE RELATÓRIO

1. Colaboração com o Comitê de Eventos Climáticos da UFSC: a pesquisadora participa de reuniões e trabalha com o processamento e tratamento de dados espaciais de manchas de inundações históricas, bem como traçados da topografia, rede de manejo de águas pluviais e hidrografia da Sub-bacia Três Córregos (também conhecida como Bacia da UFSC ou Rio do Meio).
2. Manipulação de dados de séries temporais: os dados de precipitação e vazão monitorados dentro da Bacia Três Córregos e Córrego Grande passaram por processo de tratamento e manipulação para adequação destes às necessidades do modelo de simulação. Manipulações de preenchimento de falhas e adequação de intervalos de amostragem foram realizadas em ambas as séries, mantendo-se a integridade do dado real.
3. Foi obtida a licença do software PCSWMM Professional 2D em novembro de 2024 para uso com fins educacionais na modelagem hidráulica e hidrológica das Sub-bacias estudadas. A licença tem validade por 1 ano, estando única e exclusivamente associada à função de pesquisa sem fins lucrativos.
4. Caracterização física das sub-bacias de estudo: As sub-bacias Córrego Grande e Três Córregos foram caracterizadas espacialmente quanto aos tipos de solo, uso e ocupação da terra, declividade e elevação do terreno. O número de deflúvio e a capacidade de armazenamento inicial do escoamento das áreas permeáveis e impermeáveis foram calculados para as áreas de contribuição hidrológicas de cada

sub-bacia. A caracterização física da hidrografia natural, bem como da canalizada, foi verificada em campo sempre que necessário.

5. Modelagem hidráulica e hidrológica e avaliação da qualidade dos resultados do modelo: Foram construídos os modelos hidrológicos para as sub-bacias estudadas e realizadas as simulações iniciais para conferência de possíveis erros de continuidade (escoamento superficial e roteamento).
6. Avaliação do impacto de parques lineares no controle de enchentes e inundações: Foi desenvolvido procedimento de inclusão de parques lineares no modelo hidráulico hidrológico, adaptando características de dimensionamento de valas vegetadas. Foi considerado condições de encharcamento inicial do solo de 50% devido à proximidade com o corpo d'água e características de solo argiloso. Utilizou-se 10% de fração de vegetação, representando o espaço previamente ocupado dentro do parque linear por troncos de árvore, arbustos, bancos, lixeiras e outras estruturas construídas. Para auxiliar no processo de contenção do escoamento, foi considerado altura máxima de 1m com declividade lateral de 3:1 (H:V) e declividade de fundo de 1%.
7. Metodologia de análise do impacto e viabilidade de implantação: Foram realizadas simulações considerando diferentes cenários de ausência e inclusão de parques lineares e chuvas de projeto com períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos. Os resultados das simulações foram comparados em relação ao desempenho dos parques lineares, considerando a taxa de evaporação, infiltração e armazenamento e a redução da vazão total de escoamento superficial.
8. Participação em reuniões, eventos técnico-científicos e atividades de campo: Foi participado de reuniões com o Comitê de inundações da UFSC para discussão e compartilhamento de dados levantados durante eventos de inundação no campus. Os resultados preliminares da modelagem na Sub-bacia Córrego Grande já foram aprovados para apresentação no *5th World Symposium on Climate Change Adaptation (WSCCA- 2025)* que ocorrerá em Novembro em Palhoça – SC.
9. Redação de relatórios e espacialização de resultados: O relatório técnico apresentando os resultados derivados da modelagem 1D, bem como a espacialização dos resultados (2D), foi elaborado de acordo com o modelo solicitado pela FAPESC.
10. Elaboração e publicação de artigos científicos e técnicos: Em virtude do tempo reduzido da pesquisa (apenas 12 meses, sem prorrogação), as publicações dos resultados não foram executadas. Resultados preliminares serão apresentados no WSCCA-2025 e publicados como capítulo do livro "Adapting the World to a Changing Climate" publicado pela Springer. Outros artigos da revisão bibliográfica e dos resultados finais da pesquisa serão elaborados e submetidos em revistas científicas relevantes da área após a conclusão do prazo de pesquisa.

7. ETAPAS E METAS

7.1. Correlacionar as etapas e metas previstas às executadas, conforme o Plano de Trabalho da bolsista

Etapa 1 prevista:	Revisão de literatura existente sobre parques lineares e controle de enchentes.
Metas da etapa 1 previstas:	Compilar um relatório de revisão bibliográfica.
Metas da etapa 1 executadas:	Uma revisão de literatura preliminar foi realizada, havendo necessidade de compilação do relatório e ampliação com foco nos Parques Lineares existentes no Brasil.
Período de execução ¹ :	01/08/2024 a 01/10/2024
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☒ 75% ☐ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	Não foi realizada a compilação do relatório/artigo de revisão devido ao poucos resultados encontrados na revisão inicial. Uma adequação nos critérios de busca foi realizada para o nível internacional, incluindo outros termos como Greenways, Floodplain parks e Blue-green corridors, abordando a evolução

	histórica do termo Parque Linear. Foco adicional foi dado ao nível nacional, buscando informações no relatório do SNIS 2022. No entanto, os dados necessitam de verificação nos sites dos Municípios ou documentos locais não convencionais em meio científico, demandando maior tempo de pesquisa do que o previsto.
Etapa 2 prevista:	Alinhamento dos objetivos específicos do projeto.
Metas da etapa 2 previstas:	Definir claramente os objetivos específicos.
Metas da etapa 2 executadas:	Os objetivos específicos foram adequadamente definidos. No entanto, estes podem sofrer adequações conforme os resultados das simulações hidrológicas. Objetivo Geral Analisar o impacto da implantação de parques lineares, como técnica de manejo sustentável da macrodrenagem, no controle de enchentes e inundações em bacias urbanas. Objetivos Específicos • Desenvolver uma metodologia de incorporação de parques lineares em modelos hidráulicos e hidrológicos. • Modelar bacias hidrográficas urbanas com ocorrência de inundações frequentes sob cenários de ausência e presença de parques lineares. • Avaliar as interações entre as características ambientais, climáticas e de ordenamento das bacias urbanas, construindo uma base científica que apoie a tomada de decisões e priorização de estratégias de adaptação.
Período de execução ¹ :	01/09/2024 a 09/09/2024
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	Clique ou toque aqui para inserir o texto.
Etapa 3 prevista:	Caracterização das áreas de estudo (Sub-bacia Córrego Grande e Três Córregos).
Metas da etapa 3 previstas:	Caracterizar apropriadamente as áreas de estudo.
Metas da etapa 3 executadas:	Caracterização espacial das sub-bacias quanto aos tipos de solo, uso e ocupação da terra, declividade e elevação do terreno. O número de deflúvio e a capacidade de armazenamento inicial do escoamento das áreas permeáveis e impermeáveis foram calculados para todas as áreas de contribuição hidrológica das sub-bacias.
Período de execução ¹ :	01/10/2024 a 01/12/2024
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	Clique ou toque aqui para inserir o texto.
Etapa 4 prevista:	Coleta de dados de campo e dados históricos nas áreas selecionadas
Metas da etapa 4	Completar a coleta de dados inicial.

previstas:	
Metas da etapa 4 executadas:	A caracterização física da hidrografia natural, bem como da canalizada, foi verificada em campo sempre que necessário. Dados de precipitação de ambas as bacias foram utilizados para preenchimento de falhas, haja vista, que as séries apresentaram consistência temporal e volumétrica. Foram selecionados 10 eventos com dados de precipitação e vazão monitorados simultaneamente em ambas as bacias. Estes eventos serão utilizados no processo de calibração e validação dos modelos.
Período de execução ¹ :	01/10/2024 a 01/12/2024
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	Clique ou toque aqui para inserir o texto.
Etapa 5 prevista:	Desenvolvimento de um banco de dados para armazenar e organizar os dados coletados
Metas da etapa 5 previstas:	Criar um banco de dados organizado.
Metas da etapa 5 executadas:	Um banco de dados para cada sub-bacia foi construído, contendo as seguintes informações: - Série histórica de monitoramento de precipitação e vazão com intervalo de 5 minutos; - Série histórica de temperatura máxima e mínima diária; - Delimitação da Bacia e sub-bacias hidrográficas; - Delimitação da Bacia do Itacorubi; - Hidrografia natural e canalizada; - Modelo Digital de Elevação (DEM); - Áreas permeáveis e impermeáveis; - Declividade; - Tipos de solo e grupos hidrológicos; - Uso e ocupação da terra; - Exutório e sub-exutórios; - Rede Triangular Irregular do terreno (TIN).
Período de execução ¹ :	01/12/2024 a 23/12/2024
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	Clique ou toque aqui para inserir o texto.
Etapa 6 prevista:	Implementação de modelos hidráulicos e hidrológicos para simulação de enchentes e inundações.
Metas da etapa 6 previstas:	Implementar os modelos hidráulicos e hidrológicos das duas sub-bacias de estudo.
Metas da etapa 6 executadas:	Foram criados dois modelos hidráulicos e hidrológicos, um para cada sub-bacia. As primeiras simulações foram realizadas e possíveis erros de continuidade foram resolvidos.
Período de execução ¹ :	23/12/2024 a 17/01/2025
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo	Clique ou toque aqui para inserir o texto.

de execução tenha sido ultrapassado:	
Etapa 7 prevista:	Teste e validação dos modelos com dados reais
Metas da etapa 7 previstas:	Calibração e validação dos modelos hidrológicos construídos com dados monitorados em campo.
Metas da etapa 7 executadas:	Os modelos construídos para as Sub-bacias Córrego Grande e Três Córregos foram calibrados e validados com dados monitorados em campo.
Período de execução ¹ :	17/01/2025 a 31/01/2025
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	
Etapa 8 prevista:	Desenvolvimento de protocolo de análise de impacto e metodologia de mapeamento de áreas viáveis de implementação com base nos resultados da modelagem e dados coletados.
Metas da etapa 8 previstas:	Propor e validar uma metodologia inicial de mapeamento de áreas viáveis de implementação das infraestruturas verdes
Metas da etapa 8 executadas:	Um protocolo inicial de análise do impacto de parques lineares no amortecimento de enchentes e controle de inundações em áreas urbanas foi desenvolvido. O protocolo consiste na forma de inclusão da infraestrutura dimensionada no modelo e análise dos resultados em relação as taxa de evaporação, infiltração, armazenamento e a redução da vazão total de escoamento superficial.
Período de execução ¹ :	01/02/2025 a 31/03/2025
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	
Etapa 9 prevista:	Aplicação da metodologia desenvolvida em estudos de caso específicos
Metas da etapa 9 previstas:	Aplicar a metodologia em pelo menos um estudo de caso.
Metas da etapa 9 executadas:	O protocolo foi aplicado nas duas sub-bacias, Córrego Grande e Três Córregos, considerando duas faixas distintas de abrangência do Parque Linear (30 e 50m) e três períodos de retorno (25, 50 e 100 anos) para as chuvas de projeto.
Período de execução ¹ :	01/04/2025 a 31/05/2025
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	
Etapa 10 prevista:	Análise dos resultados e comparação com a situação atual.
Metas da etapa 10 previstas:	Publicar pelo menos um artigo científico em revista indexada.
Metas da etapa 10 executadas:	Os resultados de todas as simulações foram comparados e o impacto de implantação de Parques Lineares, bem como a

	largura ideal destes, foi analisado.
Período de execução ¹ :	01/06/2025 a 31/07/2025
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☒ 75% ☐ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	O artigo referente aos achados ainda não foi submetido, mas está em processo de elaboração e será enviado para revista indexada da área.
Etapla 11 prevista:	Redação de artigos científicos e relatórios técnicos.
Metas da etapa 11 previstas:	Preparar um relatório final com todas as descobertas e recomendações.
Metas da etapa 11 executadas:	Foi elaborado o presente relatório técnico final apresentando todos os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto e recomendações para futuras implantações das estruturas. Os artigos científicos como mencionado anteriormente estão em processo de redação.
Período de execução ¹ :	01/07/2025 a 31/07/2025
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	
Etapla 12 prevista:	Apresentação dos resultados em conferências e seminários.
Metas da etapa 12 previstas:	Apresentar os resultados em pelo menos uma conferência ou seminário.
Metas da etapa 12 executadas:	Os resultados preliminares da modelagem na Sub-bacia Córrego Grande já foram aprovados para apresentação no 5th World Symposium on Climate Change Adaptation (WSCCA- 2025) que ocorrerá em Novembro em Palhoça – SC. Outros resultados serão publicados em artigos indexados e possivelmente apresentados em eventos futuros.
Período de execução ¹ :	01/01/2025 a 31/07/2025
Percentual atingido das metas previstas ² :	☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 100%
Justificar as metas previstas que não foram executadas, caso o prazo de execução tenha sido ultrapassado:	

¹O período de execução da etapa será verificado com base nos trimestres incluídos no cronograma do Plano de Trabalho.

²Selecione a opção do percentual atingido das metas, considere o total de metas de determinada etapa já executadas em relação ao total de metas previstas nesta etapa.

7.2. Informar o percentual total atingido do Plano de Trabalho

No cálculo do percentual total atingido, considere os percentuais por etapa calculados anteriormente.

☐ 25% ☐ 50% ☐ 75% ☒ 95% ☐ 100%

7.3. Relatar as alterações ou dificuldades encontradas na execução das etapas e metas previstas

Uma das dificuldades encontradas foi o processo de revisão bibliográfica sobre parques lineares como soluções baseadas na natureza para o controle de inundações urbanas. Embora o termo “parque linear” seja amplamente utilizado, trata-se de uma técnica relativamente recente quando associada especificamente à gestão de águas pluviais. Isso restringiu o número de artigos científicos diretamente relacionados ao tema, mesmo considerando uma busca com termos abrangentes. Diante dessa limitação, foi necessário adequar os critérios de busca, ampliando o escopo para incluir termos correlatos como greenways, floodplain parks e blue-green corridors, além de buscar compreender a evolução histórica do conceito de parque linear. Paralelamente, foi dado foco à realidade nacional, com análise de dados do Relatório do SNIS (2022), que aponta a existência de cerca de 600 parques lineares no Brasil. No entanto, a grande maioria dessas iniciativas não está documentada na literatura científica, exigindo pesquisa complementar em fontes alternativas, como sites de prefeituras e documentos técnicos municipais. Esse processo requer verificação individualizada e demanda mais tempo do que o previsto para o todo o projeto. Dessa forma, até o momento, não foi possível realizar a compilação dos dados e a elaboração do artigo de revisão.

Quanto aos dados históricos de precipitação e vazão, constatou-se a existência de séries curtas, com falhas significativas e monitoramento descontinuado a partir de 2018. Uma das dificuldades encontradas foi a obtenção de séries de vazão com registros em intervalos irregulares, sendo o monitoramento realizado, em muitas situações, a cada 5 minutos e 38 segundos, com variações inclusive na continuidade dos segundos. Essa irregularidade dificulta o uso direto dos dados no modelo, que exige intervalos uniformes tanto para as séries de entrada quanto de saída. A solução adotada foi a construção de uma série sintética, a partir da interpolação dos dados monitorados, padronizando-os para intervalos regulares de 5 minutos. No caso da precipitação, apesar de os registros apresentarem intervalos regulares, foram identificadas diversas falhas nas séries. Como essa variável representa a principal entrada do modelo hidrológico, optou-se pelo preenchimento das lacunas por meio da correlação com dados de uma bacia hidrográfica vizinha. Já no caso da vazão, não foi possível aplicar o mesmo procedimento, pois os dados refletem fenômenos hidrológicos específicos de cada sub-bacia, o que inviabiliza a substituição por séries externas. Como consequência, houve limitação na seleção de eventos consistentes para calibração e validação dos modelos, restando apenas dez eventos com dados confiáveis e simultaneamente registrados em ambas as sub-bacias.

Em relação às simulações, a nova versão do software PCSWMM trouxe dificuldades técnicas na leitura dos arquivos de entrada, exigindo tempo adicional para diagnóstico e correção dos erros gerados. Esse imprevisto impactou o cronograma do projeto, atrasando o início do processo de calibração, originalmente planejado para o mês de janeiro deste ano. Outro desafio significativo foi a definição da resolução adequada e a construção da malha para a modelagem bidimensional (2D). Embora os equipamentos utilizados apresentem desempenho superior à média dos computadores convencionais, foi necessário reduzir a área da malha 2D para viabilizar o tempo de simulação e evitar falhas no processamento. A simulação de um único evento extremo, ocorrido em janeiro de 2018, demandou aproximadamente 9 horas de processamento contínuo, tornando inviável a realização de ajustes frequentes no modelo e aumentando o risco de perda de dados devido a instabilidades elétricas ou falhas do sistema.

Um aprimoramento que poderia contribuir significativamente para a precisão da simulação 2D seria a inclusão das edificações existentes nas bacias modeladas, uma vez que estas afetam diretamente os padrões de escoamento superficial em caso de inundação. No entanto, as informações cadastrais atualizadas dessas edificações não estão disponíveis para nenhuma das áreas de estudo, e a elaboração manual dessa base demandaria um tempo adicional considerável. Por essa razão, essa etapa ficará para uma futura fase de aprofundamento da pesquisa.

Outro desafio metodológico enfrentado refere-se à interpretação dos hidrogramas simulados para a Sub-bacia do Córrego Grande que apresentaram múltiplos picos de vazão. Essa característica pode estar associada a um estresse excessivo das estruturas modeladas,

provocado pela alta intensidade das chuvas em períodos curtos de tempo (4h), ou pode ser uma resposta natural da Sub-bacia. A ocorrência desses picos múltiplos dificultou a análise objetiva da resposta hidrológica, demandando uma avaliação mais detalhada (por trecho) dos resultados por meio de inspeção visual dos gráficos. Para mitigar esse problema em futuras simulações, recomenda-se a ampliação da duração dos eventos de projeto para 12 ou 24 horas, de modo a permitir uma melhor distribuição do volume precipitado ao longo do tempo, favorecendo a avaliação da capacidade de atenuação das estruturas verdes sob diferentes condições hidrológicas.

8. RESULTADOS ALCANÇADOS PELA PESQUISA NO MOMENTO DA APRESENTAÇÃO DESTE RELATÓRIO

Quadros, tabelas, figuras e outras ilustrações podem ser citados no texto, mas devem ser enviadas em um documento separado. Posicione a citação próxima ao conteúdo relacionado. Por exemplo: "Inserir Figura 1 aqui".

1. Breve revisão de literatura

No século XXI, as soluções baseadas na natureza emergiram como uma tipologia de infraestrutura verde cada vez mais valiosa no contexto da urbanização, representando um modelo sustentável para o manejo das águas urbana (IBRAHIM *et al.*, 2020). Estas soluções promovem a expansão dos espaços verdes nas cidades, fortalecendo a capacidade de gerenciar o aumento das temperaturas, os riscos de inundações e a adaptação às mudanças climáticas (FINK, 2016; KABISCH *et al.*, 2016). Consideradas um componente importante das estratégias urbanas de adaptação às mudanças climáticas, as soluções baseadas na natureza focam na restauração da capacidade de armazenamento da bacia, retraindo a água por meio da infiltração, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e aumentando a interceptação e evapotranspiração (ZÖLCH *et al.*, 2017).

O parque linear é um exemplo específico de solução baseada na natureza, o qual tem sido concebido para mitigar inundações, por meio do armazenamento temporário do escoamento superficial (IBRAHIM *et al.*, 2020). Caracterizado como um sistema interligado de espaços verdes compreende áreas naturais como cursos de água, florestas ou parques, planejados e geridos para fornecer múltiplos serviços ecossistêmicos, tais como a produção de oxigênio, purificação do ar e da água, bem como a atenuação do ruído urbano (GIANNAKIS *et al.*, 2016). Considerados como elementos importantes na paisagem urbana, integrando o ambiente natural ao construído, os parques lineares são implementados ao longo dos corpos d'água geralmente em áreas susceptíveis à ocorrência de inundações. Devido sua localização favorecem a proteção das áreas de várzeas, ocupadas pelo rio durante períodos de elevada precipitação, e apropriadas pela população durante o período de estiagem (GONZÁLEZ *et al.*, 2023). A implantação de parques lineares evita a ocupação irregular em áreas de proteção ambiental, podendo interligar fragmentos de vegetação, criando corredores ecológicos e apoiando a conservação da biodiversidade. Geralmente, a infraestrutura verde também agregar funções compatíveis com uso da população, incluindo equipamentos de lazer e espaços de cultura, esporte e contemplação, promovendo o bem-estar e a educação ambiental da comunidade.

1.1 Experiências com parques lineares controlando inundações

Apesar do aumento substancial de estudos sobre técnicas baseadas na natureza encontrados na literatura nos últimos anos, o relato do planejamento e implementação de parques lineares como infraestrutura verde de controle e manejo de inundações em áreas urbanas ainda é restrito. Em âmbito internacional, a revisão de literatura identificou apenas dois exemplos de parques lineares projetados e implementados com tal finalidade: o Parque Linear do Rio Torrens, em Adelaide - Austrália, e o Parque Linear Pedieos, em Nicósia - República do Chipre.

O Parque Linear do Rio Torrens é um caminho verde de 5 km de extensão e área total de 30 km². Localizado na cidade de Adelaide, segue o curso do rio Torrens, ligando a cordilheira do Monte Lofty ao Golfo de São Vicente. O parque foi construído entre 1982 e 1998 depois de sofrer com um número significativo de eventos de inundação, tendo como função principal a gestão das águas pluviais e a mitigação de cheias (IBRAHIM *et al.*, 2020). O parque linear demonstrou um ótimo desempenho, aumentando o período de retorno dos fluxos de inundação para 200 anos (MUGAVIN, 2004). Devido os excelentes resultados do projeto, o parque serviu como modelo para pelo menos mais 10 infraestruturas verdes dentro da área metropolitana de Adelaide.

O Parque Linear Pedieos foi construído entre 1999 e 2014, tem 9,5 km de extensão, começando na área urbana da cidade de Nicósia e passando pelos municípios vizinhos de Strovolos e Lakatameia. De acordo com Giannakis *et al.* (2016), toda a região é identificada como área de risco de inundação potencialmente significativa segundo as avaliações da Diretiva Europeia sobre inundações (2007/60/CE), sendo inundações do Rio Pedieos um fenômeno recorrente na história da região. O parque começa estreito e sombreado passando por uma pequena área florestal, ganhando largura após passar pelos jardins do Palácio Presidencial. Entre os serviços fornecidos, destacam-se as faixas de caminhada e ciclismo, constantemente utilizadas pela população. Apesar de mencionarem a funcionalidade do parque como uma infraestrutura de controle de inundações urbanas, os autores do estudo não reportam valores que evidenciam essa funcionalidade.

Já em âmbito nacional, apesar do grande número de estudos relatando parques lineares, principalmente em São Paulo e na região norte do país, apenas um, o Parque da Maternidade, tem como função principal o controle de inundações. Localizado nas margens do igarapé da Maternidade, o parque linear cruza toda a cidade de Rio Branco – Acre, percorrendo 6 km de extensão. Inaugurado em 2002, foi o pioneiro na Amazônia, tendo como propósitos de implantação, evitar enchentes, conservar as águas e vegetação por meio de um corredor verde, recuperar o manancial com a remoção dos assentamentos precários e proporcionar lazer e qualidade social para a população ao entorno (ARAÚJO *et al.*, 2023; MEDEIROS *et al.*, 2020). Infelizmente, nenhum dos autores reporta valores que evidenciam a funcionalidade da infraestrutura no controle de inundações urbanas.

2. Caracterização das sub-bacias e construção do banco de dados espacial

A presente pesquisa engloba duas sub-bacias urbanas denominadas Córrego Grande e Três Córregos, esta última localmente conhecida como Bacia do Rio do Meio ou Bacia da UFSC. Ambas as sub-bacias são localizadas na região central do município de Florianópolis, sendo consideradas as principais contribuintes da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi (Figura 1). Destaca-se que todos os rios da bacia deságuam em área de proteção ambiental, constituindo o Mangue do Itacorubi, segundo maior manguezal urbano do Brasil (SANTANA *et al.*, 2022). Ambas as sub-bacias se beneficiam pela precipitação impulsionada por fatores orográficos, onde os índices variam entre 1100 a 2700mm por ano, sendo mais intensos durante o verão (RAMA *et al.*, 2019).

[Inserir Figura 1 aqui](#)

Estima-se que existam aproximadamente 45 mil pessoas circulando diariamente por toda essa região, principalmente devido à concentração de importantes atividades administrativas, educacionais e comerciais (TASCA *et al.*, 2019). Apesar do grande desenvolvimento regional, a sub-bacia Córrego Grande ainda permanece com alto índice de preservação. Aproximadamente 76% de sua área ainda é florestada (Figura 2a), devido principalmente ao relevo fortemente ondulado, sendo a declividade média da bacia de 24% (Figura 2b). No entanto, a qualidade ambiental do Rio Córrego Grande reduz à medida que ele alcança os setores da bacia com menor declividade e que sofrem grande pressão urbana. Nestas áreas de planície, o curso d'água apresenta perda dos processos naturais que o configuram como rio, sendo classificado como “deficiente”, pior índice de qualidade hidrogeomorfológico de todo o córrego (SOUZA; POMPEO, 2016). Destaca-se que a maior parte da hidrografia desta área

foi canalizada (Figura 2c), perdendo as características naturais de várzea e causando constantes eventos de inundações. A sub-bacia conta ainda com uma infraestrutura verde, o Parque Linear do Córrego Grande, funcionando como corredor ecológico entre as unidades de conservação do Parque Natural Municipal do Maciço da Costeira e o Parque Natural Municipal do manguezal do Itacorubi. O Parque Linear do Córrego Grande, implantado há certa de 10 anos, surgiu a partir de uma demanda comunitária local e tornou-se um importante espaço de integração entre a vida urbana e a natureza. Com área total de aproximadamente 17 hectares, o parque tem início na Sub-bacia Córrego Grande, onde ocupa aproximadamente 6,7 hectares, e se estende até o Manguezal do Itacorubi. Situado na área urbanizada a jusante da sub-bacia, o parque apresenta estruturas de baixo impacto que conservam as características de Área de Preservação Permanente (APP) ao longo do curso principal do rio, promovendo a recuperação de ambientes degradados e valorizando a presença do recurso hídrico na paisagem urbana.

Com uma área de 4.7 km², a altitude da sub-bacia Córrego Grande varia de 443m, no ponto mais alto, a 0.6 m acima do nível do mar na foz (Figura 2d). A pedologia da área tem predominância de solos do tipo Argissolos Vermelho-Amarelo, associado com Cambissolos Álico, Neossolos litólico e Gleissolos Háplico na região de baixada, aferindo ainda mais suscetibilidade à ocorrência de inundações (Figura 2e). Os percentuais de impermeabilização nas áreas baixas, associados às condições de pedologia com baixa capacidade de infiltração atribuem valores elevados de coeficiente de deflúvio (curve number – CN) na região da foz (Figura 2f). Os dados de entrada necessários para realizar a modelagem chuva-vazão, bem como, as fontes de onde foram coletados e algumas informações relevantes são apresentados na Tabela 1.

[Inserir Figura 2 aqui](#)

[Inserir Tabela 1 aqui](#)

Já a sub-bacia Três Córregos possui extensão de 4 km², abrangendo todo o campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A sub-bacia possui apenas 35% de sua área impermeabilizada (Figura 3a), predominantemente na região central. Este fato deve-se principalmente ao relevo fortemente ondulado, apresentando declividade média de 24% (Figura 3b). No entanto, a grande circulação de pessoas na região impulsiona o processo de urbanização descontrolada. De acordo com Tasca *et al.* (2019) o Rio Três Córregos perde algumas características de sistema fluvial quando entra no campus universitário. As margens são canalizadas (Figura 3c), há ausência de vegetação ripária, meandros, planícies de inundação ou mesmo pântanos, afetando toda a hidrodinâmica da bacia. Isso tem vários efeitos negativos previsíveis, como por exemplo, perda de habitats, aumento das inundações a jusante, mudanças na velocidade do rio, aumento da erosão e da carga de sedimentos e declínios das populações de peixes (SANTANA *et al.*, 2022).

A altitude da sub-bacia Três Córregos varia de 442m, no ponto mais alto, a 2.6 m acima do nível do mar na foz (Figura 2d). A pedologia da área tem predominância de solos do tipo Argissolos Vermelho-Amarelo na periferia da sub-bacia e Gleissolos Háplicos na região central próximo ao exutório, elevando a suscetibilidade à ocorrência de inundações na região (Figura 2e). Os percentuais de impermeabilização nas áreas baixas, associados às condições de pedologia com baixa capacidade de infiltração atribuem valores elevados de coeficiente de deflúvio (curve number – CN), principalmente na região da foz (Figura 2f). Destaca-se que esta sub-bacia é constantemente afetada por cheias e inundações, não apresentando qualquer tipo de infraestrutura verde para controle dos eventos. Os dados de entrada necessários para realizar a modelagem chuva-vazão, bem como, as fontes de onde foram coletados e algumas informações relevantes são apresentados na Tabela 2.

[Inserir Figura 3 aqui](#)

[Inserir Tabela 2 aqui](#)

3. Séries históricas de precipitação e vazão e seleção de eventos

A base para a simulação hidráulica hidrológica, também conhecida como modelagem chuva-vazão, é a utilização de dados monitorados em campo para a reprodução digital dos fenômenos reais ocorridos durante qualquer tipo de evento. Para alcançar tal reprodução são necessárias séries contínuas e confiáveis, monitoradas dentro da própria área de estudo. A maioria das bacias urbanas não apresenta este tipo de dado, sendo necessária a dedicação de diversos grupos de pesquisa, em sua totalidade ligada às Universidades Públicas, para a instrumentalização e monitoramento em longo prazo. O custo dos equipamentos e sua manutenção são os principais limitantes para a realização destes monitoramentos, obrigando a utilização de técnicas alternativas para suprir as necessidades. O desenvolvimento de sensores com menor custo passa a ser uma das principais técnicas utilizadas, o que muitas vezes pode ocasionar problemas de leitura, devido a problemas de configuração ou mesmo de coleta e transmissão dos dados monitorados.

As sub-bacias adotadas nesta pesquisa são exemplos destes problemas. O sistema de monitoramento das vazões (coleta e transmissão dos dados) foi desenvolvido dentro da universidade em parceria com outro laboratório. Apesar de o sistema funcionar, a programação da leitura foi configurada com intervalos não convencionais o que dificulta a utilização das séries para simulação. A transmissão das informações também apresentou problemas gerando muitas falhas nas séries. Quanto aos intervalos não padronizados, uma alternativa adotada pela pesquisadora foi a interpolação dos dados, gerando séries de vazão com intervalos fixos de 5m. As falhas nestas séries não foram preenchidas, evitando atribuir dados não condizentes com os fenômenos ocorridos. Quanto às séries de precipitação, estas apresentaram algumas falhas. No entanto, como as sub-bacias estudadas são vizinhas e as séries apresentaram consistência, foi adotado o intercâmbio dos dados monitorados para preenchimento das falhas.

Com as séries já tratadas foi possível selecionar os eventos que serão utilizados para calibrar e validar a modelagem hidráulica hidrológica. Estes foram definidos considerando as falhas no monitoramento da vazão. Como as séries de precipitação apresentaram consistência, e a título de comparação das simulações entre as sub-bacias, foram selecionados apenas os eventos monitorados simultaneamente em ambas as áreas de estudo. Os eventos selecionados para calibração e validação, bem como suas características, são apresentados na Tabela 3.

[Inserir Tabela 3 aqui](#)

4. Criação dos modelos hidráulicos hidrológicos e simulações preliminares

Com as séries históricas ajustadas e as sub-bacias caracterizadas fisicamente, foram construídos os modelos de simulação hidráulica hidrológica no software PCSWMM. O modelo da Sub-bacia Córrego Grande (Figura 4) inclui um total de 11 junções mais um exutório, 11 trechos de ligação como condutos fluviais e 15 sub-bacias. As junções foram colocadas nos encontros entre os canais e nas mudanças de seção. Além das dimensões dos rios canalizados levantadas em campo, seis seções transversais do rio principal detalhadas por Souza (2014) foram adotadas.

[Inserir Figura 4 aqui](#)

Já o modelo da Sub-bacia Três Córregos (Figura 5) inclui um total de 10 junções mais um exutório, 10 trechos de ligação como condutos fluviais e 14 sub-bacias. As junções também foram colocadas nos encontros entre os canais e nas mudanças de seção, sendo considerada 1 seção transversal do rio principal levantada em campo e outras 6 seções dos canais internos à UFSC disponibilizados pelo PRAD (Projeto de Recuperação das Áreas Degradadas).

[Inserir Figura 5 aqui](#)

Para ambos os modelos das sub-bacias os parâmetros de elevação do fundo e profundidade das junções foram atribuídos com base nos dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) e nas dimensões levantadas. Os Coeficientes de rugosidade de Manning (n) para rios, canais revestidos de concreto e tubulações foram definidos de acordo com Rossman (2015). As sub-bacias de contribuição foram delimitadas automaticamente a partir do MDE com auxílio do

programa SWAT e ajustadas manualmente nas áreas urbanizadas considerando a delimitação das quadras e o escoamento dentro dos lotes.

Para cada sub-bacia de contribuição foram ainda determinados os parâmetros: área, comprimento da bacia, declividade, Coeficiente de rugosidade de Manning (n) e altura inicial de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis e impermeáveis, porcentagem de impermeabilização, além do coeficiente de deflúvio (CN) para as áreas permeáveis. Para o comprimento da bacia foi adotado o valor da largura do retângulo equivalente, que relaciona o perímetro e a área de captação (GARCIA; PAIVA, 2006). A altura inicial de armazenamento em depressões para superfícies impermeáveis e o coeficiente de rugosidade de Manning para superfícies permeáveis e impermeáveis foram definidos de acordo com Rossman (2015). A taxa de abstração inicial (I_a) foi adotada como a altura inicial de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis. A porcentagem de impermeabilização foi determinada por classificação supervisionada de imagem (aerofoto com ajuste manual para o ano da simulação). O valor do CN de cada sub-bacia foi estimado com base na combinação entre os grupos hidrológicos de solo (C e D) e a classificação de uso e ocupação da terra. Importante destacar que o CN foi calculado considerando exclusivamente as áreas permeáveis das sub-bacias de contribuição, evitando assim, a duplicação do escoamento superficial já representado no modelo pelas áreas impermeáveis. Esse procedimento segue as recomendações do desenvolvedor do software, garantindo maior precisão na representação dos processos hidrológicos simulados.

Com os modelos criados, foram definidos os parâmetros que regem os processos de geração de escoamento superficial e infiltração. O método SCS-CN foi utilizado para estimar os processos de infiltração, haja vista a disponibilidade de informações para cálculo dos parâmetros. O método de Hargreaves, único incluído no modelo, foi adotado para estimar a parcela de perda por evaporação durante a simulação contínua, sendo os dados diários de temperatura mínima e máxima obtidos de EPAGRI (2019). O método de onda dinâmica foi considerado como método de roteamento de fluxo para a simulação do escoamento. Este método resolve por completo as equações de fluxo unidimensional de Saint-Venant, produzindo resultados teoricamente mais precisos e possibilitando a representação da pressurização do conduto, no caso dos canais fechados. Foi considerado que o fluxo excedente acumula-se no topo da junção, reentrando no sistema com o passar do tempo. As perdas de carga foram estimadas pela equação de Darcy-Weisbach, também conhecida como Formula Universal, pois inclui todos os parâmetros básicos (coeficiente de atrito, rugosidade do tubo, viscosidade e densidade do fluido, velocidade e diâmetro da tubulação) que descrevem a perda de carga contínua, sendo aplicável a qualquer líquido. Neste estudo, não foram incluídos dados para a estimativa do escoamento subterrâneo, como por exemplo, elevação e profundidade do aquífero, condutividade hidráulica, porosidade, ponto de murcha entre outros parâmetros relevantes. Destaca-se que o embasamento rochoso local é classificado como cristalino fraturado, não havendo pontos de monitoramento ou estudos que estimem as características do fluxo subterrâneo na região, dificultando a obtenção dos dados. Desta forma, para realizar o balanço hídrico foi considerado uma vazão de base constante para cada evento, com valores variando entre 0,003 e 0,13 m³/s para a Sub-bacia Córrego Grande e entre 0,425 e 0,6 m³/s para a Sub-bacia Três Córregos. A vazão de base representa a vazão normal do rio devido à infiltração e escoamento subterrâneo, sendo adotada para tal, a média dos valores observados no período seco que antecede o início de evento simulado.

Após todas as definições, foram realizadas as primeiras simulações com os dados reais monitorados em campo. Estas simulações preliminares são realizadas para resolver possíveis erros de continuidade do escoamento e de roteamento, isto é, incertezas ou erros existentes no balanço hídrico. Valores de erros de continuidade menor que 1% são considerados aceitáveis. Ambos os modelos apresentaram adequação aceitável no balanço hídrico, com valores inferiores ou iguais a 0% para ambos os erros, conforme mostrado anteriormente no canto inferior direito das Figuras 3 e 4.

5. Calibração e validação dos modelos 1D

Com os modelos adequadamente criados, passou-se para o processo de análise de sensibilidade, calibração e validação dos parâmetros. Os resultados da análise de sensibilidade de ambas as bacias, realizada automaticamente para 11 parâmetros, sugerem que apenas o parâmetro Coeficiente de rugosidade de Manning para canais e condutos apresenta elevada sensibilidade na estimativa de vazão de saída das bacias. A sensibilidade do parâmetro indica que este teve maior influência nos resultados do modelo e, portanto, deve ser calibrado com exatidão. Durante o processo de calibração foram identificadas interferências significativas de outros parâmetros como: porcentagem de impermeabilização, armazenamento em depressões para áreas permeáveis e impermeáveis, comprimento dos canais e CN das áreas permeáveis. Estes parâmetros foram então ajustados manualmente até atingir calibração do modelo (Tabela 4) e posteriormente utilizados para reproduzir a vazão na saída das sub-bacias para todos os eventos simulados.

[Inserir Tabela 4 aqui](#)

Ressalta-se que apesar dos ajustes elevados realizados nos parâmetros de rugosidade, estes permaneceram dentro dos limites fisicamente significativos recomendados por James (2005) para uma modelagem responsável e realista. Os hidrogramas que comparam as vazões modeladas e observadas nos eventos utilizados para a calibração e validação da Sub-bacia Córrego Grande são apresentados na Figura 6, e as respectivas estatísticas de ajuste estão sintetizadas na Tabela 5.

[Inserir Figura 6 aqui](#)

[Inserir Tabela 5 aqui](#)

O modelo da Sub-bacia Córrego Grande apresentou bom desempenho na reprodução da vazão no exutório da área de estudo para os eventos de calibração e validação, com valores de coeficiente de Person (R) superiores a 0,70 e $RMSE$ inferiores a 1,3. A estatística NSE , a qual compara o desempenho dos dados simulados com a média dos dados observados, apresentou dois valores ruins ($< 0,3$). No entanto, deve-se considerar que esta estatística é muito sensível a valores extremos, representando de forma insatisfatória o desempenho de baixas vazões, fator característico das bacias simuladas. Com exceção do Evento #02, que apresentou adequabilidade boa, todos os outros eventos apresentaram adequabilidade do modelo excelente ($ISE \leq 6$) para aplicação no planejamento e projeto final de sistemas de drenagem urbano. Isso indica a capacidade do modelo em representar o processo chuva-vazão na sub-bacia Córrego Grande. Em geral, o desempenho do modelo pode ser julgado como satisfatório para $R > 0,6$, $NSE > 0,3$ e $ISE \leq 6$ (Moriasi et al., 2015; Shamsi; Koran, 2017). Além disso, os valores baixos do $RMSE$ confirmam a confiabilidade do modelo em prever vazões próximas das observadas. De acordo com Binesh et al. (2019) quanto mais próximo de zero estiver o valor do $RMSE$, mais preciso será o modelo ao simular a condição real. Apesar do Evento #08 ter apresentado um valor de $RMSE$ acima de 1, este subestimou o volume total de vazão em apenas 3%, valor considerado aceitável para um evento extremo de 328 mm de precipitação ocorrido em menos de 3 dias.

Já a Sub-bacia Três Córregos apresentou ajustes estatísticos melhores nos eventos simulados (Tabela 6), com valores de coeficiente de Person (R) superiores a 0,76 e $RMSE$ inferiores 0,7. Apesar dos eventos #03 e #06 apresentarem desempenho insatisfatório quanto ao índice NSE ($< 0,3$), os demais critérios de avaliação indicaram boa representatividade, com diferenças de apenas 17% e 5% nas vazões simuladas, respectivamente. Todos os eventos apresentaram adequabilidade do modelo excelente para aplicação no planejamento do manejo das águas urbanas, com valores de ISE inferiores a 6. Os hidrogramas com a comparação entre as vazões modeladas e observadas para os eventos de calibração e validação da Sub-bacia Três Córregos são apresentados na Figura 7.

[Inserir Tabela 6 aqui](#)

[Inserir Figura 7 aqui](#)

6. Dimensionamento e inclusão de Parques Lineares como cenários de simulação

Para representar a presença de parques lineares nas sub-bacias urbanas estudadas, foram elaborados cenários fictícios com base na legislação ambiental vigente e em diretrizes para planejamento urbano resiliente. A configuração dos cenários com parque linear foi baseada em uma seção transversal típica adaptada do Plano Diretor de Drenagem da cidade de Cold Lake (AE, 2014), a qual contempla canal central, vegetação ripária, trilhas e taludes suaves (3:1), permitindo a drenagem difusa e o amortecimento do escoamento superficial (Figura 8).

[Inserir Figura 8 aqui](#)

O procedimento de modelagem foi o mesmo para ambas as sub-bacias, com a inserção de unidades LID (*Low Impact Development*) do tipo vala vegetada, representando as intervenções nas áreas de contribuição a jusante. Como o software de modelagem utilizado não dispõe de uma opção específica para parques Lineares, optou-se pela estrutura que mais se assemelha a esse tipo de intervenção. Para que as unidades inseridas representassem adequadamente um parque linear contínuo, foram ajustadas características como fração de ocupação pela vegetação, rugosidade, saturação inicial do solo e declividade longitudinal.

O dimensionamento dos parques considerou duas faixas com larguras distintas: 30 metros e 50 metros em cada margem, sendo a primeira baseada nos limites mínimos estabelecidos pelo Código Florestal (Lei n.º 12.651/2012) para APPs marginais em rios com largura inferior a 10 metros, e a segunda como alternativa mais conservadora, voltada ao aumento da resiliência das Sub-bacias frente a eventos extremos futuros.

Para todos os cenários, a profundidade do parque linear foi definida em 1 metro, com fração de volume de vegetação de 0,1 e coeficiente de rugosidade de 0,25, representando uma condição típica de parques urbanos com vegetação herbácea manejada, trilhas e estruturas esparsas. A fração de vegetação adotada representa a porcentagem de volume ocupado por obstáculos físicos dentro das estruturas, como troncos de árvores, arbustos, bancos, mesas, lixeiras e outros elementos urbanos, que interferem na passagem da água, contribuindo para a perda de carga e retenção do escoamento, ao mesmo tempo em que reduzem o espaço de armazenamento. A inclinação lateral dos taludes foi fixada em 3:1 (H:V) para todos os trechos. A condição de umidade inicial foi assumida como 50% de saturação, considerando a capilaridade do lençol freático raso, a proximidade com o corpo d'água e a presença de solos naturalmente encharcados ou com baixa porosidade, como os gleissolos e argissolos. O percentual de área impermeável e permeável tratada variou entre os trechos conforme as características de cada sub-bacia de contribuição. Da mesma forma, a declividade longitudinal das estruturas variou entre os segmentos de acordo com a topografia natural ao longo do rio. Essas adaptações permitiram representar de forma simplificada o papel dos parques lineares como infraestrutura verde multifuncional no sistema de manejo de águas urbanas e controle de inundações, mantendo coerência com a morfologia e o uso do solo local.

Com as características de base definidas, os modelos 1D e 2D foram replicados e as configurações espaciais dos parques lineares ajustadas, gerando cenários específicos para cada Sub-bacia. No total, foram modelados quatro cenários de parques lineares para a Sub-bacia Córrego Grande:

- (i) sem parque linear (condição hipotética anterior à implantação);
- (ii) com o parque atualmente construído (cenário base de calibração do modelo);
- (iii) com parque linear de 30 m em cada margem;
- (iv) com parque linear de 50 m em cada margem.

Para a Sub-bacia Três Córregos, que atualmente não possui parque linear implantado, foram considerados três cenários:

- (i) sem parque linear (condição atual e cenário base de calibração do modelo);
- (ii) com parque linear de 30 m em cada margem;
- (iii) com parque linear de 50 m em cada margem.

A Figura 9 apresenta a delimitação espacial dos parques lineares simulados em cada sub-

bacia, com base nas faixas marginais adotadas. O detalhamento das configurações espaciais das valas vegetadas representando os diferentes parques lineares nas Sub-bacias Córrego Grande e Três Córregos encontra-se nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

[Inserir Figura 9 aqui](#)

[Inserir Tabela 7 aqui](#)

[Inserir Tabela 8 aqui](#)

7. Construção da malha 2D e conexão com modelo 1D calibrado

Para a análise hidrodinâmica bidimensional, foi construída uma malha 2D sobre as áreas potencialmente inundáveis das Sub-bacias Córrego Grande e Três Córregos. A geração da malha hexagonal considerou a topografia detalhada da região, representada por um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 5 metros, com duas amostragens por hexágono, ajustados conforme a geometria e rugosidade do terreno. Devido às limitações computacionais enfrentadas durante as simulações, a área modelada em 2D foi restrita a um buffer de 150 metros ao longo do canal principal de cada sub-bacia. Essa delimitação visou viabilizar o tempo de processamento e garantir a estabilidade do sistema, sem comprometer a representação das zonas mais suscetíveis à inundação.

A conexão entre os domínios 1D e 2D foi realizada por meio de elementos de interface nas junções do modelo 1D. Foram utilizados nós de transição e elementos de ligação (*links*) próximo ao exutório, garantindo a troca de fluxo entre os sistemas e a simulação integrada de extravasamentos e inundações. O modelo 1D previamente calibrado foi mantido, incorporando os parâmetros hidráulicos ajustados durante a etapa de calibração. A inserção do domínio 2D não alterou significativamente o comportamento hidrológico do modelo, mas permitiu representar de forma mais realista a propagação das lâminas de inundação no espaço, especialmente em áreas urbanizadas e de relevo suave. As condições de contorno do modelo 2D foram definidas com base nas direções naturais de escoamento e na presença de corpos hídricos receptores. A rugosidade de Manning no domínio 2D foi atribuída conforme o uso e cobertura do solo, diferenciando áreas construídas ou pavimentadas, vegetação rasteira e florestas.

Outro desafio relevante foi a definição da resolução adequada da malha, definida como 10m para equilibrar precisão e tempo de simulação. Mesmo com o uso de equipamentos de alto desempenho, a simulação de um único evento extremo (janeiro de 2018) demandou cerca de 9 horas de processamento contínuo, inviabilizando ajustes frequentes no modelo e aumentando o risco de perda de dados por quedas de energia ou aquecimento do sistema de processamento. Um aprimoramento futuro que poderia aumentar significativamente a precisão do modelo seria a inclusão das edificações existentes, dado seu impacto nos padrões de escoamento em áreas urbanas. No entanto, a ausência de bases cadastrais atualizadas para as sub-bacias e o tempo necessário para elaboração manual dessa base inviabilizaram a inclusão nesta etapa. A Figura 10 mostra as malhas 2D geradas para as sub-bacias Córrego Grande e Três Córregos, destacando os trechos modelados no entorno do canal principal a jusante.

[Inserir Figura 10 aqui](#)

8. Simulação de cenários e análise do impacto da implantação de parques lineares no controle de inundações urbanas

8.1 Sub-bacia Córrego Grande

A simulação dos cenários na bacia do Córrego Grande permitiu avaliar comparativamente os efeitos hidrológicos decorrentes da implantação de Parques Lineares (PL) com diferentes larguras ao longo do canal principal. Foram testados quatro cenários: ausência de parque linear (sem PL), condição atual com parque pré-existente (PL Atual), implantação de parque

linear respeitando os limites mínimos de APP com 30 metros de largura (PL 30 m) e com 50 metros (PL 50 m), considerando eventos críticos com tempos de retorno (T_r) de 25, 50 e 100 anos.

A Figura 11 apresenta a variação do volume total de escoamento superficial (em milhões de litros) para os quatro cenários avaliados. Os resultados indicam que o cenário atual, que já contempla área com Parque Linear, promove uma redução média de aproximadamente 2,05% no volume total escoado, quando comparado ao cenário sem qualquer PL. Essa redução aumenta para uma média de aproximadamente 2,3% com a implantação de uma faixa de 30 metros no parque linear e atinge no máximo 3,4% no cenário com 50 metros de largura.

[Inserir Figura 11 aqui](#)

Os resultados demonstraram que a presença dos parques lineares promoveu reduções sutis nos volumes de escoamento superficial, e consequentemente na atenuação do escoamento gerado, sendo os efeitos mais expressivos observados à medida que a largura da faixa vegetada aumenta. No entanto, destaca-se que a função principal do parque não é a redução de volume, mas sim, a atenuação e retardo do pico. De maneira consistente, os hidrogramas de vazão de saída (Figura 12) revelaram a diminuição do primeiro pico de vazão e um leve retardo no tempo de concentração da bacia, indicando um amortecimento inicial do escoamento superficial promovido pelas áreas vegetadas.

[Inserir Figura 12 aqui](#)

A implantação dos parques lineares promoveu uma redução significativa do primeiro e segundo pico de vazão, para todos os tempos de retorno simulados. No entanto, não foram verificadas diferenças relevantes entre as larguras das faixas vegetadas. O cenário sem parque linear (linha vermelha) apresenta os maiores valores de vazão no primeiro e segundo pico, com destaque para o evento de $T_r = 100$ anos. Em contrapartida, os cenários com parques lineares apresentam picos mais atenuados e deslocados no tempo, indicando uma diminuição da intensidade do escoamento superficial gerado. Essa redução pode estar diretamente associada ao aumento do amortecimento proporcionado pelas barreiras naturais das áreas vegetadas, reduzindo a velocidade do escoamento. Por outro lado, o terceiro pico apresentou um leve aumento nas vazões quando comparado com o hidrograma de ausência de parque linear, o que pode indicar um aumento do escoamento subterrâneo devido as maiores taxas de infiltração proporcionadas pelas áreas verdes. No entanto, esta hipótese demanda maiores investigações.

Destaca-se que a Sub-bacia Córrego grande apresentou hidrogramas com múltiplos picos, um fenômeno pouco compreendido mecanicamente, apesar de amplamente documentado com relatos no Reino Unido, Japão, França, Luxemburgo, Alemanha, Áustria e Estados Unidos. De acordo com Martínez-Carreras *et al.* (2016a) hidrogramas de pico duplo representam a resposta retardada de uma bacia hidrográfica à precipitação, onde o primeiro pico frequentemente coincide com o evento de chuva, sendo relativamente rápido, mas o segundo pico é lento, apresentando retardo de resposta e assumindo a forma de um pico mais amplo e moderado, defasado no tempo em relação à resposta inicial. Picos retardados são arredondados por natureza, com um aumento gradual na vazão do curso d'água seguido por uma recessão gradual (Birkinshaw, 2008) e, na maioria dos casos, geram consideravelmente mais escoamento superficial do que o primeiro pico (Zillgens *et al.*, 2007).

Segundo Yang *et al.* (2015), para algumas bacias, o escoamento rápido está associado ao escoamento superficial, enquanto o escoamento lento pode ser subterrâneo, e isso pode refletir as propriedades mistas de uso da terra, tipo de solo e saturação das bacias hidrográficas. Martínez-Carreras *et al.* (2016a) avançam mencionando a relação com o (i) fluxo saturado nas encostas, contribuindo para o crescimento da cunha no sopé, o (ii) fluxo subterrâneo de estruturas altamente permeáveis e o (iii) fluxo de água subterrânea do leito rochoso. De modo geral, não há um padrão claro que permita identificar previamente as bacias onde esse comportamento hidrológico ocorre. Ele pode ser observado em bacias urbanas, de diferentes tamanhos, nas quais o primeiro pico é geralmente associado ao

escoamento superficial direto sobre superfícies impermeáveis, e o segundo pico, a fluxos subterrâneos com resposta mais lenta. Mas também é observado em bacias rurais, sendo os dois picos resultantes de diferentes mecanismos de escoamento, como fluxo superficial, subsuperficial e/ou de águas subterrâneas profundas, que respondem em escalas de tempo distintas (Martínez-Carreras *et al.*, 2016b).

Analisando apenas os valores de vazão nos três picos gerados (Figura 13), identificaram-se comportamentos distintos em resposta à chuva de projeto.

[Inserir Figura 13 aqui](#)

O primeiro pico apresentou redução expressivas em todos os cenários de parque linear (PL), com valores médios de atenuação variando entre 19,7% e 22,7%, evidenciando a efetividade das intervenções na contenção inicial do escoamento superficial. Essa redução foi proporcional à largura do PL, com melhor desempenho observado no cenário de 50 metros. Já o segundo pico apresentou reduções mais brandas com atenuação média variando entre 11,4% e 13,8%. Já no terceiro pico, verificou-se aumento em todos os cenários de PL e para todos os tempos de retorno, com valores de aumento médio variando entre 1.2% e 2.0%. Esse comportamento pode estar relacionado à sincronização de contribuições retardadas que coincidem temporalmente com o terceiro pico, apontando para a necessidade de estudos complementares para avaliar as estratégias de retenção ou redistribuição do escoamento ao longo do tempo.

Considerando apenas o primeiro pico, pode-se inferir que, com a inclusão do parque linear, a Sub-bacia Córrego Grande passou a suportar eventos de maior magnitude com impactos equivalentes aos de eventos menos intensos no cenário original. Em termos práticos, independentemente da largura da faixa vegetada simulada para o parque linear, a Sub-bacia passou a suportar um evento de $T_r = 100$ anos com efeitos hidrológicos equivalentes a um T_r de 50 anos no cenário sem parque, uma melhora significativa na resiliência urbana. A modificação do comportamento hidrológico observado é especialmente importante em bacias urbanas onde a velocidade de geração e concentração do escoamento é elevada devido à impermeabilização do solo. Embora os parques lineares tenham se mostrado eficazes na atenuação inicial, seu desempenho sobre os picos secundários exige avaliação mais aprofundada, com monitoramento distribuído entre os canais de contribuição e não apenas em um único exutório.

Em termos gerais, a presença do Parque Linear funcionou como uma infraestrutura de mitigação hidrológica, contribuindo para a redução do risco de inundação em áreas a jusante. A análise detalhada dos componentes hidrológicos nas áreas correspondentes aos parques lineares reforça essa interpretação. Os valores de infiltração (Figura 14a) aumentaram com a largura das faixas verdes, refletindo a maior área disponível para absorção da água da chuva e, conseqüentemente, maior recarga do solo. Os valores de infiltração nas áreas do PL variaram de 139.39 mm no cenário atual até 167.44 mm no PL de 50 m. A perda por evaporação, embora discreta, também apresentou um leve crescimento com o aumento da vegetação, indicando um microclima favorável à evapotranspiração nas áreas vegetadas (Figura 14b).

[Inserir Figura 14 aqui](#)

Por outro lado, o escoamento superficial gerado especificamente nas áreas ocupadas pelo parque lineares apresentou reduções expressivas com o aumento da largura das faixas vegetadas. No cenário com parques de 50 metros, as reduções alcançaram aproximadamente 48,6% em relação ao cenário atual, refletindo uma expressiva capacidade de retenção, infiltração e desaceleração do fluxo superficial promovida pela presença de vegetação e solo disponível para infiltração (Figura 14c). Esses resultados reforçam o papel dos parques lineares como Soluções baseadas na Natureza (SbN), capazes de mitigar os impactos hidrológicos de eventos extremos em ambientes urbanos. Além disso, observa-se uma tendência de melhoria contínua conforme se amplia a largura das faixas verdes: os cenários com 30 m e 50 m de largura apresentaram reduções proporcionais do escoamento em todos

os eventos simulados, o que evidencia a robustez hidrológica dessas intervenções frente a eventos de precipitação de diferentes intensidades.

Além disso, observou-se uma leve redução da lâmina de armazenamento final de água nos cenários com maiores larguras de PL (Tabela 14d), o que indica que, embora os parques consigam reter parte da água durante os eventos, boa parte do volume é infiltrada ou escoada de forma mais lenta, contribuindo para a regularização do escoamento e não apenas para o represamento temporário.

As Figuras 15 e 16 apresentam as manchas de inundação simuladas para a Sub-bacia Córrego Grande, comparando os diferentes cenários de Parque Linear (ausência, atual, 30 m e 50 m) em três tempos de retorno. As imagens evidenciam os efeitos espaciais das intervenções sobre a extensão e profundidade das áreas alagadas na jusante da bacia, complementando os resultados discutidos.

[Inserir Figura 15 aqui](#)

[Inserir Figura 16 aqui](#)

Em conjunto, esses resultados reforçam que a implantação de parques lineares pode representar uma estratégia eficiente para o controle de cheias urbanas, especialmente quando integrados ao sistema natural de manejo das águas nas bacias. O efeito positivo observado independe da área ocupada pelo parque, sugerindo que, sempre que possível, deve-se priorizar a preservação de margens de cursos d'água com faixas vegetadas contínuas, garantindo as funções hidráulica e ecológica da bacia. A integração dessa estratégia com outras práticas de manejo de águas urbana sustentável pode ampliar ainda mais sua eficácia e contribuição para a resiliência das cidades frente aos eventos extremos.

8.2 Sub-bacia Três Córregos

A análise hidrológica da Sub-bacia Três Córregos considerou três cenários: condição atual sem parque linear (sem PL), implantação de parque linear com largura de 30 metros (PL 30 m) e com 50 metros (PL 50 m), sob chuvas de projeto com tempos de retorno (Tr) de 25, 50 e 100 anos. A Figura 17 mostra a variação do volume total de escoamento superficial (em milhões de litros) para os três cenários avaliados.

[Inserir Figura 17 aqui](#)

Os resultados indicam que a implantação de um parque linear dentro do campus universitário, promove uma redução média no volume escoado de aproximadamente 2,4% para parques com faixa de 30 metros e 3,2% para parques com faixa de 50 metros, evidenciando reduções tímidas, mas similares as encontradas na Sub-bacia Córrego Grande. As baixas reduções possivelmente estão relacionadas à topografia da bacia e a baixa capacidade de infiltração dos solos saturados, predominando solos do tipo gleissolos. Os efeitos de redução mais expressivos foram observados em eventos de menor intensidade (Tr 25) e com maior largura de faixa vegetada, indicando uma maior eficácia dos parques lineares na retenção de volumes de eventos de menor severidade.

De maneira consistente, os hidrogramas de vazão de saída (Figura 18) revelaram a diminuição dos picos de vazão e um leve retardo no tempo de concentração da bacia, indicando um amortecimento do escoamento superficial promovido pelas áreas vegetadas.

[Inserir Figura 18 aqui](#)

A implantação dos parques lineares promoveu a redução dos picos de vazão em todos os tempos de retorno simulados. O cenário sem parque linear (linha vermelha) apresenta os maiores picos de vazão, com destaque para o evento de Tr = 100 anos, cuja vazão máxima atingiu aproximadamente 51 m³/s. Em contrapartida, os cenários com PL de 30 m e 50 m apresentam picos similarmente mais atenuados, aproximadamente 48 e 47 m³/s respectivamente, indicando uma diminuição da intensidade do escoamento superficial gerado.

Além da redução dos picos, os hidrogramas dos cenários com parque linear também revelam um leve deslocamento no tempo de pico, sugerindo um pequeno atraso no tempo de concentração. Este atraso, embora sutil, indica que a presença das faixas vegetadas contribui para retardar o escoamento superficial, permitindo maior tempo de infiltração e retenção da água precipitada. Observa-se ainda um efeito de amortecimento da curva hidrológica, com declives mais suaves na fase de recessão dos cenários com PL. Esse comportamento indica uma liberação gradual da água após o pico de vazão, reflexo da maior capacidade de retenção temporária e infiltração promovida pelas faixas vegetadas. Com isso, o escoamento superficial torna-se diluído no tempo, reduzindo a concentração imediata de vazão e contribuindo para a mitigação de inundações a jusante.

Analisando os valores de vazão de pico (Figura 19), observa-se que a presença de parques lineares eleva a resiliência da Sub-bacia Três Córregos, reduzindo os impactos hidrológicos mesmo sob eventos extremos.

[Inserir Figura 19 aqui](#)

No cenário atual sem parque linear, os picos de vazão foram de 50,67 m³/s (Tr = 100 anos), 44,80 m³/s (Tr = 50 anos) e 39,89 m³/s (Tr = 25 anos). Já nos cenários com implantação de parques lineares de 30 m e 50 m de largura, esses valores foram gradualmente atenuados. Essa melhoria se traduz em reduções médias de pico de vazão de 7,32% com PL de 30 m e 9,01% com PL de 50 m. Destaca-se que, com o PL de 50 m, o pico de vazão do evento de Tr = 50 anos (40,93 m³/s) é equivalente ao que seria esperado no cenário sem PL sob Tr = 25 anos, indicando uma melhoria considerável no comportamento hidrológico da bacia.

Essa atenuação mostra que o parque linear amplia a capacidade da sub-bacia de suportar eventos mais severos com impactos equivalentes aos de eventos menos intensos atualmente, reforçando seu papel como infraestrutura verde eficaz na redução de riscos de inundações em áreas urbanas.

A análise dos componentes hidrológicos nas áreas ocupadas pelos possíveis parques lineares reforça a eficácia dessas estruturas como estratégia de mitigação hidrológica (Figura 20). A comparação entre os cenários de PL com 30 m e 50 m evidencia o efeito direto da largura da faixa vegetada na redução do escoamento superficial, no aumento da infiltração e em outras perdas como evaporação. A infiltração (Figura 20a) foi ligeiramente superior no cenário com PL de 50 m, com valores variando de 504,15 mm a 579,4 mm (Tr = 25 a 100 anos), o que corresponde a aproximadamente 15% e 13% da lâmina total de água que entrou na estrutura, respectivamente, indicando que, embora expressivos em termos absolutos, são compatíveis com a dinâmica de áreas vegetadas que recebem grande volume de escoamento superficial concentrado. Essa proporção reforça a viabilidade dos resultados, demonstrando que a maior faixa de vegetação contribui para ampliar a capacidade de infiltração sem representar uma superestimativa no comportamento hidrológico modelado. As perdas por evaporação (Figura 20b) também apresentaram um aumento discreto, passando de 3,65 mm no PL de 30 m para 3,82 mm no PL de 50 m, em todos os tempos de retorno, possivelmente associadas à maior superfície vegetada e às condições mais favoráveis ao microclima nas áreas verdes.

[Inserir Figura 20 aqui](#)

O impacto mais expressivo, entretanto, foi observado no escoamento superficial. Enquanto as lâminas geradas nas áreas do parque linear com 30 m oscilaram entre 4285,33 mm (Tr = 25 anos) e 5803,22 mm (Tr = 100 anos), no cenário com 50 m esses valores foram reduzidos para o intervalo de 2546,8 mm a 3461,45 mm. Isso representa uma redução média de aproximadamente 40,5% no escoamento superficial nas áreas vegetadas do parque (Figura 20c), o que demonstra a elevada eficácia da estrutura na contenção e desaceleração do escoamento superficial.

A lâmina armazenada (Figura 20d) temporariamente nas áreas do PL também foi ligeiramente menor no cenário com faixas de 50 m de largura (de 282,71 mm a 320,79 mm) em comparação ao PL de 30 m (de 338,84 mm a 381,64 mm), o que sugere que boa parte da

água retida foi direcionada à infiltração, reduzindo a necessidade de retenção superficial prolongada. Portanto, a Sub-bacia Três Córregos demonstrou-se altamente responsiva à inserção de infraestrutura verde, especialmente com parques de maior largura. Essa constatação reforça a importância de incorporar tais estratégias no planejamento urbano e na gestão integrada dos recursos hídricos. No entanto, ainda que os resultados mostrem benefícios claros, é importante destacar que, em eventos de maior severidade, a eficiência das faixas vegetadas pode apresentar limitações, especialmente em áreas com solos saturados ou baixa capacidade de infiltração.

A Figura 21 apresenta as manchas de inundação simuladas na jusante da Sub-bacia Três Córregos para os diferentes cenários e tempos de retorno, permitindo visualizar a redução das áreas alagadas conforme o aumento da largura dos parques lineares.

[Inserir Figura 21 aqui](#)

Esses resultados corroboram com o entendimento de que parques lineares, enquanto Soluções baseadas na Natureza (SbN), podem contribuir significativamente para a redução do escoamento superficial em áreas urbanas, promovendo maior infiltração e regularização do escoamento. A tendência de melhoria com o aumento da largura das faixas vegetadas reforça a importância de serem consideradas dimensões adequadas às funções hidrológicas e ecológicas desses espaços. Portanto, a adoção de parques lineares mais largos ao longo das margens dos cursos d'água surge como uma estratégia eficaz e robusta para o enfrentamento de eventos extremos e para o fortalecimento da resiliência urbana.

9. CONCLUSÕES (PARCIAIS OU FINAIS) DA PESQUISA

A presente pesquisa teve como objetivo geral analisar o impacto da implantação de parques lineares (PLs) como técnica de manejo sustentável da macrodrenagem urbana, com foco no controle de enchentes e inundações em bacias urbanas. Para isso, foi desenvolvida uma metodologia de incorporação de Parques Lineares em modelos hidrológicos e hidráulicos, aplicando-a em duas sub-bacias urbanas com histórico de inundações: Córrego Grande e Três Córregos. Os modelos foram calibrados e validados com base em eventos observados, alcançando coeficientes de eficiência como *NSE* superiores a 0,5 em grande parte dos casos, valores de Correlação de Pearson (*R*) geralmente acima de 0,8, e baixos valores de *RMSE*, demonstrando desempenho satisfatório para a simulação dos processos hidrológicos.

Na Sub-bacia Córrego Grande, os resultados da simulação evidenciaram a efetividade dos Parques Lineares como estratégia de mitigação hidrológica frente a eventos extremos. Os cenários com PL apresentaram significativa redução nos dois primeiros picos de vazão, correspondentes às respostas iniciais e intermediárias da bacia, em todos os tempos de retorno, o que demonstra que a estrutura verde atua amortecendo a resposta hidrológica da bacia, mesmo frente a chuvas intensas, reduzindo a sensibilidade do sistema aos eventos extremos. Embora o terceiro pico tenha mostrado pequeno aumento de vazão em alguns cenários com PL, este comportamento pode estar associado à atenuação da velocidade do escoamento e redistribuição do volume ao longo do tempo. Independentemente da largura da faixa vegetada, a implantação do parque linear aumentou a resiliência da Sub-bacia, a qual passou a responder a eventos de $Tr = 100$ anos com comportamento hidrológico similar ao de um Tr de 50 anos no cenário sem parque. A expansão das faixas vegetadas proporcionou um aumento significativo da infiltração e redução expressiva do escoamento superficial na área ocupada pelo PL, o que contribui para a regulação hidrológica e reforça o papel deste tipo de estrutura com Soluções baseadas na Natureza (SbN). A ocorrência de hidrogramas com múltiplos picos reforça a necessidade de investigações mais detalhadas sobre os mecanismos de resposta hidrológica nesta bacia, incluindo a realização de monitoramento contínuo em múltiplos pontos estratégicos.

Na Sub-bacia Três Córregos, onde ainda não existe parque linear, os resultados reforçam o potencial dessa intervenção promovendo benefícios hidrológicos consideráveis. Os cenários com PL apresentaram reduções de até 10,9% na vazão de pico e aumentos expressivos na infiltração e no tempo de concentração. Observou-se que o PL de 50 m foi capaz manter o

pico de vazão de um evento com TR = 50 anos a níveis similares aos de um TR = 25 anos sem PL, enquanto o PL de 30 m proporcionou melhorias levemente menores. Em ambos os casos, a implantação de parques lineares contribuiu para reduzir a severidade das inundações, evidenciando sua efetividade como infraestrutura verde de controle de cheias. Além disso, a lâmina infiltrada na estrutura variou entre 483,99 mm e 579,4 mm, o que representou de 8,2% a 15% do total de escoamento de entrada na área do parque, indicando que os valores simulados são realistas dentro das características do solo da região (predominância de gleissolos) e do lençol freático raso. A fase de recessão dos hidrogramas também se mostrou mais suave nos cenários com PL, especialmente no de 50 m, sugerindo uma maior capacidade de retenção temporária da água e liberação gradual, o que contribui para o amortecimento das cheias.

A análise conjunta das bacias demonstrou que o impacto hidrológico positivo dos parques lineares está relacionado não apenas à sua largura, mas também à sua inserção estratégica em áreas com elevada contribuição de escoamento superficial e baixa capacidade de drenagem natural. Esses achados reforçam o potencial dos parques lineares como componentes fundamentais de uma abordagem integrada de infraestrutura verde urbana. A adaptação de unidades LID do tipo vala vegetada mostrou-se eficaz para representar Parques Lineares no modelo PCSWMM, mesmo diante das limitações do software quanto à representação direta destes. Ainda que a revisão de literatura tenha sido limitada, ela apontou que, apesar do crescente interesse por Soluções baseadas na Natureza (SbN), poucos estudos abordam o papel dos parques lineares na redução de inundações urbanas, sobretudo em áreas costeiras vulneráveis. Esses espaços, quando bem planejados, funcionam como infraestrutura verde multifuncional, integrando funções hidráulicas de retenção, infiltração e amortecimento do escoamento superficial, bem como ecológicas e sociais. Em síntese, esta pesquisa contribui não apenas ao demonstrar os benefícios dos Parques Lineares por meio de modelagem hidrológica aplicada, mas também ao fornecer uma metodologia replicável para representar essas estruturas em modelos computacionais, contribuindo com subsídios técnicos para o planejamento urbano e elaboração de políticas públicas voltadas à adaptação das cidades frente às mudanças climáticas.

10. SUGESTÃO DE SEGUIMENTO DA PESQUISA OU NOVA ETAPA

Como desdobramento desta pesquisa, recomenda-se o aprofundamento da análise espacial dos efeitos hidrológicos dos parques lineares por meio das manchas de inundação geradas nas simulações. Para que essa abordagem represente com maior fidelidade a realidade urbana, é necessário aprimorar a modelagem bidimensional com a inclusão de edificações e barreiras físicas, evitando a simulação irreal de escoamento sobre áreas construídas.

Adicionalmente, sugere-se o refinamento da representação dos parques lineares no PCSWMM. A adaptação das valas vegetadas como unidades LID mostrou-se eficaz, mas ainda limitada diante da complexidade das interações hidrológicas reais. A inclusão de elementos como drenos ou condutos internos pode representar de forma mais precisa a função do canal fluvial que atravessa essas estruturas, contribuindo para uma simulação mais realista da dinâmica de retenção, infiltração e escoamento.

Além disso, destaca-se a necessidade de desenvolver ou aplicar métodos robustos para a separação da vazão de base a partir de séries temporais com resolução sub-horária. No presente estudo, foi necessário adotar uma vazão de base constante distinta para cada evento simulado, ajustada manualmente com base no histórico observado, o que demandou tempo considerável e representou apenas uma aproximação. A ausência de um procedimento automatizado para essa separação compromete a eficiência e a consistência do processo de calibração. Portanto, avanços nessa área permitiriam uma representação mais fidedigna da hidrologia da bacia, haja vista a dificuldade deste tipo de monitoramento.

No caso específico da Sub-bacia Córrego Grande, os hidrogramas simulados apresentaram múltiplos picos de vazão, evidenciando a complexidade da resposta hidrológica local. Esse comportamento reforça a necessidade de monitoramento contínuo e em múltiplos pontos ao longo do sistema de drenagem, a fim de capturar as variações espaciais e temporais do

escoamento com maior precisão. Estudos adicionais nesta bacia, com base em dados observacionais mais detalhados, são essenciais para compreender a origem e a recorrência desses múltiplos picos e refinar os modelos gerados.

Esses aprimoramentos permitirão consolidar o papel dos parques lineares como infraestrutura verde multifuncional e oferecerão subsídios técnicos mais robustos para o planejamento urbano resiliente, especialmente em áreas costeiras extremamente vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas.

11. PARECER DA ORIENTADORA

Comentar sobre o desempenho da estudante ao longo do curso, abordando as disciplinas cursadas e o progresso do projeto. Este item é de preenchimento obrigatório.

A doutora Jakcemara Caprario cumpriu todas as atividades previstas no plano de trabalho com rigor. Desenvolveu seu trabalho no laboratório LAUTEC com profissionalismo e cooperação, auxiliou na oferta de disciplinas, na orientação de alunos de pós graduação e no aprimoramento dos métodos de pesquisa utilizados pela equipe.

No seu projeto de pesquisa especificamente alcançou praticamente todos os seus objetivos com excelência. A temática dos parques lineares, fundamentais para melhoria da gestão das águas nos ambientes urbanos visando a redução dos danos causados por enchentes nas cidades, foi seu tema principal de projeto. Foram alcançados importantes avanços científicos em termos de modelagem destas estruturas e avaliação de seu uso nas cidades para redução dos impactos de cheias.

Colaborou com as produções científicas do grupo do LAUTEC incluindo um artigo aceito para publicação em revista indexada na Web of Science com fator de impacto superior a 7, apesar do tempo de 1 ano para o trabalho de pós doc ser muito curto para se chegar aos resultados do projeto, submeter e aprovar um artigo com fator de impacto relevante. Por este motivo produções científicas importantes, resultantes do projeto, foram submetidas e ainda estão em fase de análise e outras ainda serão submetidas.

A bolsa de pós doc foi fundamental para a melhoria da produção científica do grupo de trabalho, para a consolidação da formação da pós doutora e para fazer avançar a ciência no campo de conhecimento das águas urbanas trazendo benefícios tanto em termos locais quanto globais.

Nome e assinatura da orientadora:

Alexandra Rodrigues Finotti

Nome e assinatura da bolsista:

Jakcemara Caprario

Nome e assinatura da coordenadora do PPG:

Alexandra Rodrigues Finotti

