

Sistema FIEB



**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
ENGENHARIA CIVIL**

LETÍCIA RIBEIRO ARAÚJO

**Gêmeos digitais e a Gestão de Riscos de Inundações Urbanas em
Salvador:
Estudo de caso em bacia de detenção**

SALVADOR, BA

2023

LETÍCIA RIBEIRO ARAÚJO

**Gêmeos digitais e a Gestão de Riscos de Inundações Urbanas em
Salvador: Estudo de caso em bacia de detenção**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de bacharelado em Engenharia Civil, sob a coordenação do Prof. Dr. Luara Batalha Vieira do Centro Universitário Senai Cimatec.

Orientador: Prof. MSc. Moisés Ferreira Eleutério Silva

Co-orientador: Miguel Soares

SALVADOR

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

R788e Araújo, Letícia Ribeiro

Gêmeos digitais e a gestão de riscos de inundações urbanas em Salvador: estudo de caso em bacia de detenção / Letícia Araújo Ribeiro. – Salvador, 2023.

60 f. : il. color.

Orientadora: Prof. Msc. Moisés Ferreira Eleutério Silva.

Coorientador: Prof. Miguel Soares.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Programa de Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2023.

Inclui referências.

1. Inundações. 2. Gêmeos Digitais. 3. Drenagem Urbana. 4. Chuvas Críticas. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Silva, Moisés Ferreira Eleutério. III. Soares, Miguel. IV. Título.

CDD 624

LETÍCIA RIBEIRO ARAÚJO

**Gêmeos digitais e a Gestão de Riscos de Inundações Urbanas em
Salvador:
Estudo de caso em bacia de detenção**

Monografia aprovada como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil do Centro Universitário SENAI CIMATEC.

Aprovado em:

Prof. Dra. Luara Batalha Vieira
Coordenador do curso de Engenharia Civil
Centro Universitário SENAI CIMATEC

Prof. MSc. Moisés Ferreira Eleutério Silva
Orientador
Centro Universitário SENAI CIMATEC

MSc. Miguel Soares
Convidado
Bentley Systems

Dedico este trabalho ao meu Salvador, Jesus, que me trouxe até aqui e estará comigo nos próximos passos e a minha família, que me fortaleceu.

AGRADECIMENTOS

O agradecimento a realização de um curso tão importante para o desenvolvimento da sociedade, deve ser primeiro dada ao Senhor Jesus que me orientou a cursá-lo e principalmente a permanecer diante de todas as dificuldades.

Agradeço aos meus pais que foram compreensivos, apoiadores e meu porto seguro diante dos obstáculos, que foram muitos, e por me guiar a luz da sabedoria de Deus.

Aos meus familiares e amigos que foram essenciais para me animar com palavras e compreensão além de reconhecerem o meu esforço.

Agradeço ao meu orientador Prof. MSc. Moisés Ferreira, pelo apoio e orientação de excelência e por ter me impulsionado a ir além do que achei que fosse capaz.

Aos meus amigos engenheiros, companheiros durante os 5 anos de estudo para nos tornar o que somos hoje.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento aos meus professores da construção civil, pois acredito que sem os ensinamentos deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

E se clamares por entendimento, e
por inteligência alçares a tua voz

Se como a prata a buscares e como
a tesouros escondidos a
esquadrinhares,

Então entenderás o temor do
Senhor, e acharás o conhecimento
de Deus.

Porque o Senhor é o que dá a
sabedoria; da sua boca é que sai o
conhecimento e o entendimento.
(Provérbios 2:3-5)

RESUMO

Os eventos de inundações têm sido recorrentes, principalmente nas grandes cidades, devido à ineficiência dos sistemas hidráulicos, sobretudo, ocupação desordenada do solo associada à aglomeração urbana. Os danos podem ser incalculáveis, principalmente populações vulneráveis que vivem em regiões adjacentes às margens de rios e canais. Nesse sentido, o presente trabalho visa estudar a eficiência de um sistema de microdrenagem, integrado a uma lagoa que funciona como meio de amortecimento de águas, bacia de retenção, em um bairro específico na cidade de Salvador. Para tanto, investigou-se a resposta dessa bacia de retenção como mitigador, utilizando softwares para modelagem e simulação computacional, sobretudo, plataformas a base de gêmeos digitais para previsibilidade de eventos críticos de chuvas. Os resultados demonstram que a bacia funciona como meio de amortecimento do pico de vazão máxima e recebe contribuições de diversos trechos de rede. Além disso, observou-se que para precipitações críticas acima de 10 mm, o sistema de drenagem passa a estar sobrecarregado, especialmente nos pontos de visita mais próximos a lagoa. A previsibilidade de eventos, pela plataforma SEWERSIGHT, se demonstrou ser um importante instrumento para integrar ações e medidas corretivas de campo para evitar cenários de inundações. Conclui-se, portanto, que a integração dos modelos computacionais com gêmeos digitais possibilita melhorias significativas nas tomadas de decisão de órgãos governamentais, garantindo a proteção, manutenção e segurança às regiões afetadas pelas chuvas em Salvador.

Palavras-chaves: Inundações; Gêmeos Digitais; Drenagem Urbana; Chuvas críticas.

ABSTRACT

Flood events have been recurrent, especially in large cities, due to the inefficiency of hydraulic systems, primarily due to disorderly land occupation associated with urban sprawl. The damages can be immeasurable, particularly for vulnerable populations living in regions adjacent to rivers and channels. In this regard, the present study aims to investigate the efficiency of a microdrainage system integrated with a pond that serves as a water buffering and detention basin in a specific neighborhood in the city of Salvador. To achieve this goal, the response of this detention basin was investigated as a mitigating measure using software for modeling and computational simulation, particularly digital twin-based platforms for predicting critical rainfall events. The results demonstrate that the basin functions to attenuate the peak of maximum flow and receives contributions from various sections of the network. Additionally, it was observed that for critical precipitation above 10 mm, the drainage system becomes overloaded, especially in the mainholes closest to the pond. The predictability of events, provided by the SEWERSIGHT platform, proved to be an important tool for integrating field actions and corrective measures to prevent flood scenarios. Therefore, it can be concluded that the integration of computational models with digital twins allows for significant improvements in decision-making by government agencies, ensuring protection, maintenance, and safety for areas affected by rainfall in Salvador.

Keywords: Floods; Digital Twins; Urban Drainage; Critical Rainfall.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização Bacia de Detenção Pacaembu	19
Figura 2. Cadastramento Lagoa dos Frades	24
Figura 3. Mapa Índice TOPODATA	25
Figura 4. Região da Lagoa dos Frades	26
Figura 5. Região da Lagoa dos Frades	27
Figura 6. Direção de Drenagem e Topografia da Região	28
Figura 7. Sub-bacias de Drenagem e Bacia Hidrográfica	29
Figura 8. Projeto inicial do cadastro técnico e Bacias hidrográficas	32
Figura 9. Interface SewerSight	37
Figura 10. Interface SewerGEMS – Resumo dos parâmetros de cálculo	39
Figura 11. Resumo detalhado de parâmetros iniciais de cálculo-Bacias de Contribuição	40
Figura 12. Propriedades Sub-bacias	40
Figura 13. Propriedades Poços de Visitas- Resultados Iniciais	41
Figura 14. Perfil Longitudinal Completo do Caminho Selecionado	42
Figura 15. Comportamento da Bacia de Detenção.	46
Figura 16. Resultados Da Bacia de Detenção	46
Figura 17. Status da Lagoa dos Frades	47
Figura 18. Simulação 22/05/2023, 18:15h, Tubulação CO-44	48
Figura 19. Vazão Lagoa dos Frades (PO-1)	50
Gráfico 1. Precipitação para Simulação 34	
Gráfico 2. Volume da Lagoa	42
Gráfico 3. Lâmina d'água e Volume da Lagoa	43
Gráfico 4. Altura de Bordo Lagoa	44
Gráfico 5. Linha Piezométrica e Vazão Total	44
Gráfico 6. Hidrograma	45
Gráfico 7. Vazão e Precipitação da Tubulação (CO-44)	49
Gráfico 8. Vazão da Lagoa dos Frades	50
Gráfico 9. Hidrograma	53

LISTA DE QUADROS E TABELAS

<i>Quadro 1. Parâmetros de Cálculo do SewerGEMS</i>	36
<i>Tabela 1. Dados Pluviométricos (26 de novembro de 2019)</i>	33
<i>Tabela 2. Comportamento da Bacia de Detenção.</i>	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Justificativa.....	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	Geral.....	13
1.2.2	Específicos:	13
1.3	Metodologia.....	14
2	DESENVOLVIMENTO	15
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1.1	Hidrologia e a Gestão das Águas Pluviais Urbanas	15
2.1.2	Sistemas de Microdrenagem Urbana	15
2.1.3	Inundações, Enchentes e Alagamentos	17
2.1.4	Bacias de Detenção.....	18
2.1.5	Tecnologias para Mitigação de Riscos de Inundações.....	19
2.1.6	Conceitos e definições de Gêmeos Digitais	20
2.1.7	Aplicação de Gêmeos Digitais na Gestão de Riscos de Inundação em Áreas Urbanas.....	21
2.2	METODOLOGIA	22
2.2.1	Contextualização e descrição da área de estudo em Salvador	22
2.2.2	Análise de dados e imagens geoespaciais;.....	24
2.2.3	Análise Topográfica	25
2.2.4	Análise Hidrológica	27
2.2.5	Modelos Hidrológicos e Hidráulicos;.....	29
2.2.6	Ferramentas e Tecnologias de modelagem e simulação computacional;.....	31
2.2.7	Plataforma para integração de dados e análise de gêmeos digitais; 36	
3	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	38
3.1	Resultados da modelagem e simulação computacional SewerGems .	38
3.2	Análise de dados no SewerSight	47
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
5	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A – PERFIS LONGITUDINAIS DO SISTEMA DE MICRODRENAGEM	59

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de monitoramento das redes de drenagem urbana na cidade de Salvador tem sido cada vez mais necessária como ponto de investimento no âmbito técnico, político e social devido ao grande aumento de desastres causados pela ineficiência do sistema de gestão de águas pluviais. Por outro lado, o uso de novas tecnologias pode ser um grande aliado no controle e na previsibilidade dos eventos extremos causados pelas mudanças climáticas. Os gêmeos digitais, por exemplo, são ferramentas promissoras e podem agir como instrumento de mitigação, sendo estes modelos virtuais de objetos, sistemas ou processos do mundo real. Eles podem ser usados para simular e prever resultados em tempo real, permitindo que os usuários testem diferentes cenários e tomem decisões informadas com base nos resultados. Aplicado à gestão de risco de inundações e drenagem urbana, os gêmeos digitais podem ser usados para simular como as inundações afetam uma área específica e avaliar o impacto de diferentes medidas no gerenciamento de riscos.

1.1 Justificativa

A drenagem urbana apresenta interfaces com diversos elementos da infraestrutura urbana e deve ser tratada de modo especial, cabendo destacar o papel que ela exerce em relação a fatores socioeconômicos e ambientais, sobretudo, na recuperação e restauração de áreas degradadas pela urbanização depredatória (CANHOLI, 2005).

A despeito de sua importância crítica, a gestão de drenagem urbana é frequentemente negligenciada em processos de planejamento urbano, sendo, portanto, uma área altamente suscetível a prejuízos. Tal fenômeno pode ser atribuído, em parte, ao fato de que as alocações de recursos destinados à gestão de drenagem urbana frequentemente carecem de visibilidade e destaque na esfera pública. No entanto, a falha em assegurar um adequado manejo e gestão das águas pluviais pode resultar em consequências catastróficas, as quais, frequentemente, adquirem grande repercussão na mídia.

Muito se tem discutido a respeito da grande quantidade de desastres naturais causados por enchentes no nordeste do Brasil, devido à ineficiente gestão da drenagem urbana que se dá principalmente pela urbanização não planejada das cidades. O crescimento urbano, na cidade de Salvador tem se desenvolvido de forma descentralizada e com baixa fiscalização quanto ao uso e ocupação de solos, na qual consta a abundância de recursos hídricos naturais na região, causando a inundação de certos pontos que foram submetidos a pavimentação de ruas, construções de casas e outros estabelecimentos, em locais que previamente eram ocupados pela alteração natural dos corpos d'água, como rios, por exemplo.

Para a mitigação desses desastres naturais e antrópicos, na cidade de Salvador, é necessário o uso de metodologias apropriadas e ferramentas tecnológicas para facilitar o monitoramento de pontos de risco, preveni-los e propor a restauração ou reparação deste local, como as bacias de retenção, utilizada como estudo de caso da presente monografia.

Através do software SewerGems, da empresa Bentley Systems, que opera como gêmeo digital para a análise do sistema de microdrenagem urbana e será usado para simular o comportamento hidráulico e hidrológico da lagoa de retenção e ajudar a otimizar o projeto e a gestão desse importante elemento de drenagem urbana. Posteriormente se utilizará o software SewerSight como conclusão técnica de simulações em tempo real e assim enriquecer a análise.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Modelar e simular o comportamento de uma rede de drenagem, tendo como exutório uma bacia de retenção, com o uso de plataformas integradas, avaliando eventos em face de eventos críticos de chuva e a resposta dos comportamentos da rede diante de uma situação extrema.

1.2.2 Específicos:

- Realizar o cadastro da rede de microdrenagem e geoprocessamento da área de influência e delimitar bacias de contribuição até o exutório;

- Simular o sistema de drenagem urbana no bairro STIEP, em Salvador-BA utilizando o software SewerGems da Bentley Systems, como gêmeo digital para análise;
- Verificar a eficiência da bacia de retenção como elemento de mitigação de enchentes;
- Analisar os resultados da modelagem e simulação para aplicabilidade e utilização prática na defesa civil da cidade de Salvador através do SewerSight.

1.3 Metodologia

Para a realização de modelagens e simulações de um sistema de microdrenagem, proposto por este trabalho, foi preciso, primeiramente, realizar um estudo hidrológico da região do STIEP, Salvador-BA, através da obtenção de dados extraídos do QGIS, software de geoprocessamento, onde foi possível identificar as bacias hidrográficas, a contribuição pluvial na região e dados como a topografia, importante na análise dos dados.

Considerando a necessidade de um software que promova a precisão de dados e possa contemplar uma diversidade de índices para que gere a melhor simulação possível e atenda a realidade, foi escolhido o software SewerGems da Bentley Systems, este, é promissor e tem crescido em visibilidade e referência nos estudos de drenagem e manejo de águas pluviais. A nova funcionalidade 1D/2D no Open Flows SewerGEMS é uma ferramenta importante para modelagem de inundações e análise hidráulica de sistemas de águas pluviais. A usabilidade da interface permite com que o projetista visualize ou acesse informações fornecendo opções de visualização abrangentes, tanto com ferramentas internas quanto externas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1.1 Hidrologia e a Gestão das Águas Pluviais Urbanas

Os estudos hidrológicos envolvem múltiplas ciências que integram a análise e o processamento da dinâmica das águas, especialmente dentro de uma bacia hidrográfica. Devido a complexidade podem ser abordados de forma isoladas, como no caso das precipitações, infiltrações, escoamentos, evapotranspiração, entre outros. No trabalho em destaque houve um direcionamento para a etapa relacionada ao escoamento superficial, ou seja, avaliando um sistema de microdrenagem dentro de um recorte de um bairro específico na cidade de Salvador. Para melhor compreensão, serão apresentados nos tópicos subsequentes, os principais temas de revisão teórica e que servirão de base para a estruturação do trabalho. O conjunto de estudos utilizados para a presente monografia são: escoamento superficial, análise da drenagem urbana de Salvador, Bahia, topografia da região, análise das chuvas da cidade e por fim a modelagem hidrológica do bairro Stiep.

Para melhor entendimento desses estudos, é preciso entender os conceitos que envolvem a hidrologia e a gestão das águas pluviais.

2.1.2 Sistemas de Microdrenagem Urbana

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico: Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, elaborado pelo Governo Federal (2016), como diretriz para gestão urbana nos municípios do país, um sistema de microdrenagem urbana, ou sistemas iniciais de drenagem, consiste na coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias (diâmetro $\varnothing < 1,5\text{m}$). Esse sistema é responsável por garantir o escoamento adequado da água em vias urbanas, encaminhando-a para o sistema de macrodrenagem, que tem como função a devolução da água para rios e mares. São aqueles referentes ao conjunto de elementos projetados para atender a contribuição de volumes de precipitação de risco moderado e normalmente são dimensionados considerando o depósito na rede de macrodrenagem da cidade.

Para garantir o funcionamento eficiente do sistema, é fundamental que cada elemento que o compõe, seja dimensionado de forma correta, sendo esses:

- a) Sarjetas: correspondente ao trecho que intermedeia a rua e a boca de lobo e possuem uma declinação de 20% que causa o escoamento guiado da água;
- b) Bocas coletoras: citando o Manual de Drenagem Urbana do município de Toledo, PR, bocas de lobo devem captar e conduzir as vazões superficiais para as galerias além de serem preferencialmente colocadas com vistas a fim de evitar a criação de zonas mortas ou alagamentos;
- c) Poços de visita: De acordo com a norma ABNT NBR 9649 (1986), de Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário, poços de visita consiste em câmara visitável através de abertura existente em sua parte superior, destinada à execução de trabalhos de manutenção. Estes podem ser utilizados tanto em projetos de esgoto quanto para drenagem urbana. Os poços de visita podem dar acesso a galerias pluviais e recebem a contribuição das bocas de lobo.
- d) Galerias Pluviais: são os condutos que conectam as bocas de lobo aos demais elementos do sistema, como os poços de visita até o sistema de macrodrenagem, ou como no estudo de caso em questão, a própria bacia de retenção.

Alguns conceitos importantes a respeito da hidrologia devem ser abordados para que as análises de resultados sejam bem compreendidas, são esses:

- a) Escoamento Superficial: pode ser descrito como o comportamento natural da água em relação a topografia natural do terreno. Pode-se considerar também que "é aquele que ocorre livremente na superfície terrestre sobre uma película de água aderida ao solo, enquanto o subsuperficial acontece dentro da parte vazia do solo, entre os grãos, partículas e materiais semidecompostos relativamente soltos" (Popolizio 1975 apud Bigarella, 2003, p. 890).
- b) Bacias hidrológicas: correspondem às áreas de captação natural da água de precipitação que escoam para um ponto final que se denomina exutório. A delimitação de uma bacia se dá de forma manual através do estudo planialtimétrico da região, ou através de

estudos de geoprocessamento, como softwares de sensoriamento remoto, por exemplo, o QGIS.

- c) Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento: pode ser definido como "o processo de obtenção de informações sobre objetos ou fenômenos da superfície terrestre sem estar em contato físico com eles, por meio da captura e análise da energia refletida ou emitida por esses objetos ou fenômenos" (Lillesand et al., 2014, p. 1). O sensoriamento remoto e o geoprocessamento são fundamentais para a modelagem hidrológica do sistema pois estes, possibilitam o estudo topográfico através da base de dados dos satélites.

Esse dimensionamento deve levar em consideração fatores como a topografia do terreno, a intensidade e frequência das chuvas e a capacidade de armazenamento do sistema, onde se enquadram a importância de todos os conceitos mencionados acima. Sendo assim, o sistema de microdrenagem urbana é de grande importância para prevenir inundações e enchentes em áreas urbanas e deve ser dimensionado de forma apropriada para garantir o seu bom funcionamento. Portanto, quando projetado e executado de forma eficiente, a gestão de águas pluviais se torna eficaz para manter a habitação com conforto e fora de riscos.

2.1.3 Inundações, Enchentes e Alagamentos

Os conceitos de inundações, enchentes e alagamentos são utilizados comumente como sinônimos, porém, na hidrologia, possuem significados distintos e causas diferentes umas das outras.

A enchente é o aumento do nível da água em um curso d'água, sendo esse um rio, lagoa, córregos, causado pelo volume de precipitação contribuindo no volume deste curso. Estes são comportamentos naturais, e importantes para o equilíbrio do ecossistema, mas que podem causar transbordamentos e inundações em áreas urbanas. Isso se dá muitas vezes pela não adequação do crescimento urbano aos corpos de água existentes que precisam realizar este fenômeno de aumento e diminuição da margem e quando se projeta um sistema de microdrenagem e macrodrenagem, deve ser indispensável o estudo do comportamento dos cursos d'água.

Os alagamentos já são a formação de acúmulos de água no perímetro urbano, ou seja, a água de precipitação ou residual proveniente de inundações e acontecem em diversos pontos da região. Estes acontecem usualmente em regiões que possuem terrenos irregulares ou ausência de sistemas de drenagem.

As inundações, por sua vez, são o fenômeno de extravasão da água em regiões onde o sistema de drenagem foi subdimensionado para a demanda pluvial. Carlos Tucci, em Hidrologia Ciência e Aplicação, 4ª Edição, 2020, descreve as inundações como *“quando a precipitação é intensa a quantidade de água que chega simultaneamente no rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja, a da sua calha normal.”*. Ainda explica na obra, que devido a necessidade de ocupação populacional no entorno dos rios, por objetivo econômico, explica o condicionamento urbano existente na atualidade.

Ao se estudar a respeito de sistemas de microdrenagem urbana, muito se deve discutir a respeito das inundações que acontecem devido ao mau planejamento e execução dos sistemas, causando a sobrecarga e consequentemente o transbordamento das águas pluviais que abrangem a área projetada. O crescimento desordenado nas cidades, causa problemas graves e devem ser solucionados. Portanto, na presente monografia, as inundações atuam como a problemática analisada.

2.1.4 Bacias de Detenção

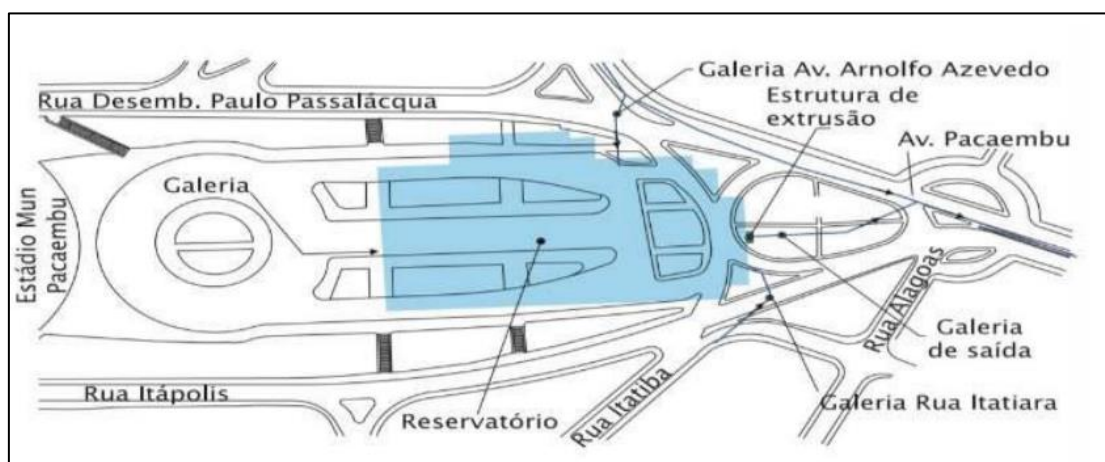
As bacias hidrográficas correspondem às áreas de captação natural da água de precipitação que escoam para um ponto final que se denomina exutório. Quando analisada uma área alvo de inundações, a utilização de bacias de retenção pode ser posicionada no exutório da bacia hidrográfica para amortecer o escoamento superficial e armazenar a água excedente de eventos críticos pluviométricos.

As bacias de retenção são lagoas naturais ou artificiais que amortecem e armazenam a água proveniente do escoamento da chuva e dos outros elementos de drenagem, a água armazenada é lentamente infiltrada e ocorre de forma mais natural possível, a liberação desse volume, ou seja, lentamente. “As bacias de retenção têm sido muito usadas comumente, em zonas rurais, como

meio de armazenamento de água para fins agropecuários e em projetos de drenagem para reduzir o pico do escoamento para um nível compatível com a capacidade do meio receptor” (LIMA et al, 2006).

Um importante exemplo da utilização das bacias de retenção, é o reservatório para controle de cheias da Avenida Pacaembu na cidade de São Paulo-SP. O local era historicamente marcado por inundações durante os períodos de cheias e segundo CANHOLI (2014), a bacia hidrográfica correspondente ao local afetado encontrava-se completamente urbanizado, portanto, a construção de um reservatório de amortecimento no local da avenida e direciona a água para um córrego por gravidade. A estratégia foi considerada bem-sucedida pois amorteceu o pico de vazão na avenida e seu derredor.

Figura 1. Localização Bacia de Detenção Pacaembu



Fonte: Santos, 2019, p 12.

2.1.5 Tecnologias para Mitigação de Riscos de Inundações

Segundo o Instituto Formation Management, o mercado das cidades inteligentes, que utilizam da tecnologia para melhorar a qualidade de vida dos moradores, terá um crescimento anual projetado em 23% nos próximos três anos (Redação IIMA, 2023). A principal necessidade tem sido vista na implantação de sistemas automatizados para controle e prevenção de riscos, devido às frequentes oscilações climáticas nos últimos anos (Agência Nacional de Águas, 2016). Uma das áreas que mais sofre com ausência dessas ações e políticas tem sido a drenagem urbana, com índices cada vez crescente de eventos e perdas incalculáveis no âmbito financeiro e de vida. No entanto, algumas tecnologias têm dado suporte ao controle e mitigação desses riscos, dentre elas

o uso de Gêmeos digitais. Como é descrito na presente monografia, as inundações são causadas, usualmente pela má gestão dessa área que tanto impacta urbanisticamente e, portanto, deve-se investir em alternativas tecnológicas para contribuir no campo da hidráulica e hidrologia.

2.1.6 Conceitos e definições de Gêmeos Digitais

Os gêmeos digitais são "modelos virtuais em 3D de sistemas físicos ou objetos do mundo real, que podem ser usados para simular, analisar e otimizar o desempenho e o comportamento desses sistemas ou objetos" (Grievés e Vickers, 2017) e pode ser também definido como a troca de informações entre a realidade e o modelo virtual, segundo VanDerHorn e Mahadevan (2021). Os gêmeos digitais ainda sim têm a capacidade simular e aplicar informações capturadas do meio, com o objetivo de acompanhar o ciclo de vida do objeto, sem alterar seu estado físico (Marques et al, 2022).

A introdução dos gêmeos digitais na área de gestão urbanística ainda é preliminar comparado ao uso dessa tecnologia para indústrias, desenvolvimento de produtos e manufatura, só podendo observar grandes impactos na aplicação urbana em 2017, com o grande projeto Virtual Singapore. Este projeto constituiu-se da modelagem virtual da cidade em todos os aspectos, sendo esses, infraestrutura, edifícios, transporte, meio ambiente e serviços públicos da cidade utilizando sensoriamento remoto, modelagem 3D, Big Data e inteligências artificiais e foi produzido em parceria de agências governamentais, universidades e empresas de tecnologia que atingiram o modelo virtual mais próximo da realidade. Em um comunicado de imprensa feito pela Agência Governamental de Singapura relata que o Virtual Singapore oferece quatro recursos principais, sendo esses: Experimentação Virtual, base de teste virtual, planejamento e tomada de decisão, pesquisa e desenvolvimento. Com esses princípios, o projeto tem como objetivo fornecer informação eficaz para o desenvolvimento da cidade em tudo que se implica o monitoramento.

No campo da hidrologia, o uso de gêmeos digitais ainda tem sido pouco expressivo, porém, de acordo com o Portal do Saneamento Básico, em seu artigo com o tema "Going Digital Bentley Systems: do BIM para o Digital Twins no setor do saneamento" (2019), os projetos demonstrados pela empresa de softwares de engenharia, envidenciam a distância que existe em relação a estas

metodologias, na maioria dos projetos de infraestrutura e saneamento. As principais aplicações foram no âmbito da previsibilidade de chuvas e integração com dispositivos microeletrônicos de campo para níveis de água, entre outros.

Em um artigo publicado pela Universidade de Évora, “Avaliação do comportamento hidráulico do sistema interceptador de águas residuais e pluviais de Avieiros e Icesa” (Figueiredo, 2014), o assunto gestão de sistemas de drenagem e águas pluviais foi abordado através do software SewerGEMS da Bentley Systems, porém somente para análise dos sistemas de Avieiros e Icesa. Foram utilizadas diferentes metodologias e softwares para a análise e fins comparativos e traz como consideração final a constatação que o recurso à modelação matemática de sistemas de drenagem urbana permite apoiar as gestões responsável nos processos de tomada de decisão, operação e exploração do sistema e permite, em situações de projeto, explorar soluções potencialmente mais económicas.

2.1.7 Aplicação de Gêmeos Digitais na Gestão de Riscos de Inundação em Áreas Urbanas

A melhor gestão da drenagem urbana, tem sido tópico discutido no Brasil e é pauta de prioridades, onde pode ser visto no artigo publicado, em 2021, pela Associação Brasileira de Recursos Hídricos, " Indicadores e índices para o gerenciamento de águas pluviais urbanas no Brasil: situação atual e oportunidades de evolução" e trata de um ponto importante como conclusão, sendo esse: a importância a observância da espaço da bacia hidrográfica para fins de planejamento de ações, principalmente em regiões intensamente urbanizadas, como regiões metropolitanas, onde a área urbana de mais de um município pode abranger uma mesma bacia hidrográfica.

O conhecimento do comportamento da contribuição da água da chuva e do escoamento superficial deste, é fundamental para um sistema de drenagem eficiente e leva a introdução de novas tecnologias que possam aperfeiçoar esses estudos. Numa discussão promovida pela Instituição de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), com o tema " Drenagem e Manejo Sustentável de Águas Pluviais Urbanas.: O Que Falta para o Brasil Adotar?" (2022), é mencionado, como as peculiaridades que se tornam desafios do setor mencionados no diagnóstico do componente, que existem duas principais dificuldades sendo

essas: a dificuldade na obtenção de dados e informações pelos próprios prestadores de serviços e a difícil tarefa de correlacionar, com precisão, os eventos de precipitação e as informações fornecidas pelos prestadores.

Devido às demandas citadas acima, o conceito de gêmeos digitais se torna a solução integrada que promove a precisão de estudos hidrológicos, juntamente com o monitoramento preventivo ou até mesmo em tempo real. O Investimento nesse tipo de tecnologia traz uma nova perspectiva para evitar o subdimensionamento dos elementos da microdrenagem para evitar desastres e desconfortos. Ainda no artigo publicado pela Instituição de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), é mencionado a respeito da evolução do monitoramento e da disponibilidade de dados, que cria também um ambiente propício a estudos científicos no setor do manejo de águas pluviais, ou seja, promove a constante evolução e precisão de dados.

2.2 METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou como procedimento metodológico três etapas distintas, porém complementares. A primeira envolveu o levantamento da região de estudo, incluindo visitas "in loco" para reconhecimento das estruturas hidráulicas existentes. A segunda parte envolveu um estudo de geoprocessamento e modelagem da rede de microdrenagem no software SewerGEMS. Na terceira etapa, houve a inclusão dos resultados hidráulicos-hidrológicos dentro da plataforma da Bentley para integração do meio físico e digital.

2.2.1 Contextualização e descrição da área de estudo em Salvador

O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise detalhada do sistema de drenagem urbana do bairro Stiep, localizado na cidade de Salvador. Considerando a recorrência de alagamentos na região da Lagoa dos Frades, a Secretaria Municipal de Manutenção da Cidade implementou uma intervenção significativa no local, transformando a lagoa em um reservatório de detenção integrado ao sistema de drenagem.

A intervenção mencionada consistiu em conectar a lagoa aos poços de visitas e bocas de lobo das ruas circundantes, a fim de aumentar a capacidade de

armazenamento e escoamento das águas pluviais. Dessa forma, o reservatório de retenção tornou-se um elemento crucial para o bom funcionamento do sistema de drenagem do bairro Stiep, contribuindo para a prevenção de enchentes e outros problemas associados à má gestão das águas pluviais.

Para a realização da análise da Lagoa dos Frades, o alvo da intervenção mencionada, através de dados disponibilizados pela Secretaria de Manutenção da Cidade (SEMAN), através de visitas técnicas ao local, cadastramento e dados de geoprocessamento. A lagoa é composta de 8 entradas de água originadas dos poços de visita e uma nona entrada sanitária que é originada de prédios de precedência irregular. Toda a contribuição de água da lagoa é infiltrada no solo ou evaporada, porém não é direcionada para nenhum outro elemento do sistema de drenagem da região.

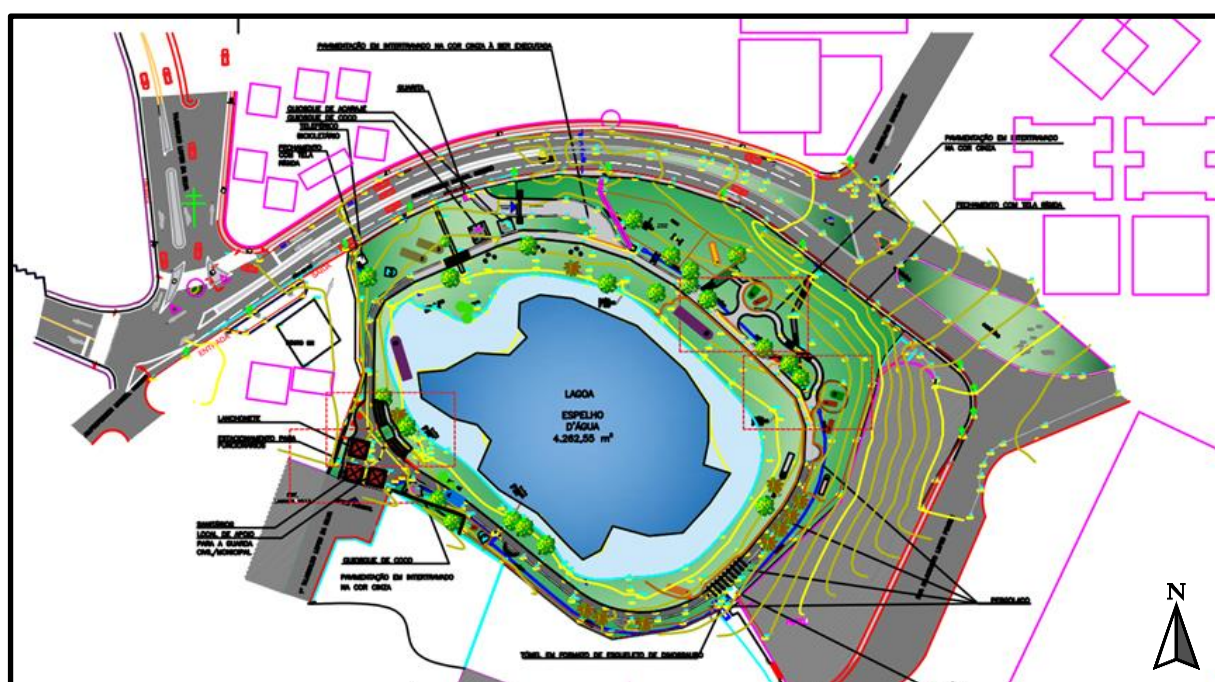
A contribuição de água pluvial que a lagoa recebe foi estimada a partir da delimitação da bacia de contribuição, cadastro dos dispositivos hidráulicos visíveis, sobretudo, informações repassadas pela gestão da prefeitura enquanto redes existentes. Sendo assim, a falta de direcionamento da água, a não interligação das redes para a região da lagoa, vindo de outros elementos do sistema de drenagem pode comprometer a eficácia da intervenção realizada, uma vez que a lagoa pode se tornar um elemento isolado em relação aos demais componentes da rede de drenagem. Além disso, pode ser comprometido o nível de qualidade das águas, conseqüentemente a manutenção da vida aquática local. Uma bacia de retenção não interligada com a região de contribuição pode não realizar a função para qual foi criada.

Segundo informações fornecidas pela prefeitura de Salvador através da Secretaria de Manutenção da Cidade (SEMAN), a Lagoa dos Frades, apesar de ter sido transformada em um reservatório de retenção para auxiliar no escoamento das águas pluviais do bairro Stiep, apresenta um problema de seca em períodos de baixa pluviosidade na região. Portanto, essa característica indica que a contribuição de água pode não ser suficiente para manter o ecossistema existente na lagoa, o que tem ocasionado o acúmulo de matéria orgânica e o aumento de toxinas devido ao baixo volume de água. Além disso, o elemento de microdrenagem que deveria ser utilizado para receber grandes contribuições de

água, acaba sofrendo com essa peculiaridade e tal situação é alarmante, pois pode acarretar diversos impactos negativos para o meio ambiente e a qualidade de vida do ecossistema local.

Considerando o cenário atual, o estudo de caso aborda, a partir das considerações acima, que toda a contribuição da bacia hidrográfica na região da Lagoa dos Frades é direcionada para ela, onde foram feitas as análises com base em chuvas críticas para comprovar a efetividade de um elemento como uma bacia de retenção em locais previamente alvos de inundações.

Figura 2. Cadastramento Lagoa dos Frades



Fonte: SEMAN

2.2.2 Análise de dados e imagens geoespaciais;

Para realizar o cadastro da região foi preciso concluir quais elementos do sistema de microdrenagem contribuem, teoricamente, para o abastecimento da lagoa dos Frades, isto é, quais destes tem a lagoa como exutório. Para isso, através do software Qgis, foram feitas duas principais análises: topográfica e hidrológica.

2.2.3 Análise Topográfica

O primeiro estudo necessário para compreender um sistema de microdrenagem é o estudo topográfico ou de planialtimetria. Este é realizado a partir do cadastro de pontos através de ferramentas como teodolito, estação total, GPS e nível de precisão, esse cadastro gera um Modelo Digital de Terreno (MDT) e a partir desse arquivo gera-se as curvas de nível. O escoamento da água se dá pelos desníveis do terreno e o mesmo raciocínio se utiliza para as bacias hidrográficas, que consistem nas áreas de captação natural da água de precipitação que escoam para um exutório. Sendo assim, foi necessário a utilização do Software Qgis (Quantum Geographic Information System) para identificar as curvas de nível da região. Para o cadastro de pontos, foi utilizada a base de dados do TOPODATA, que é o banco de dados geomorfométricos do Brasil, onde todos estão estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000, para a região de Salvador-BA, se utilizou arquivo "12S39_", retirado do Mapa Índice disponibilizado pelo próprio TopoData, demonstrada na Figura 3, abaixo:

Figura 3. Mapa Índice TOPODATA



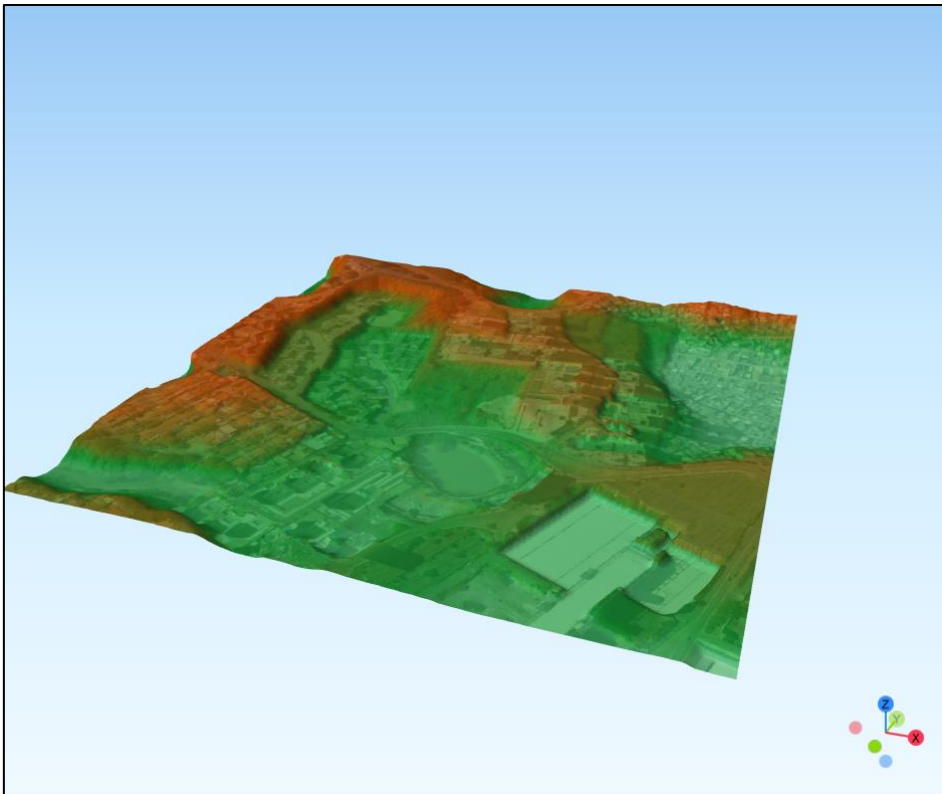
Fonte: TOPODATA

Com esse arquivo, foi selecionada a opção "altitude", que é o conjunto de pontos referentes ao relevo da região e a partir disso, pode-se começar a utilização do software QGIS para a obtenção da topografia do terreno. Os

arquivos podem ser importados como vetores ou raster, são tipos de camadas georreferenciadas que podem ser extraídas no próprio Qgis manualmente, ou através de bancos de dados como o TOPODATA e o GoogleEarth. Assim, arquivos de poligonal de um terreno ou região, caracterização hídrica, topografia entre outras informações, podem ser importadas no Qgis para a interpretação de uma região.

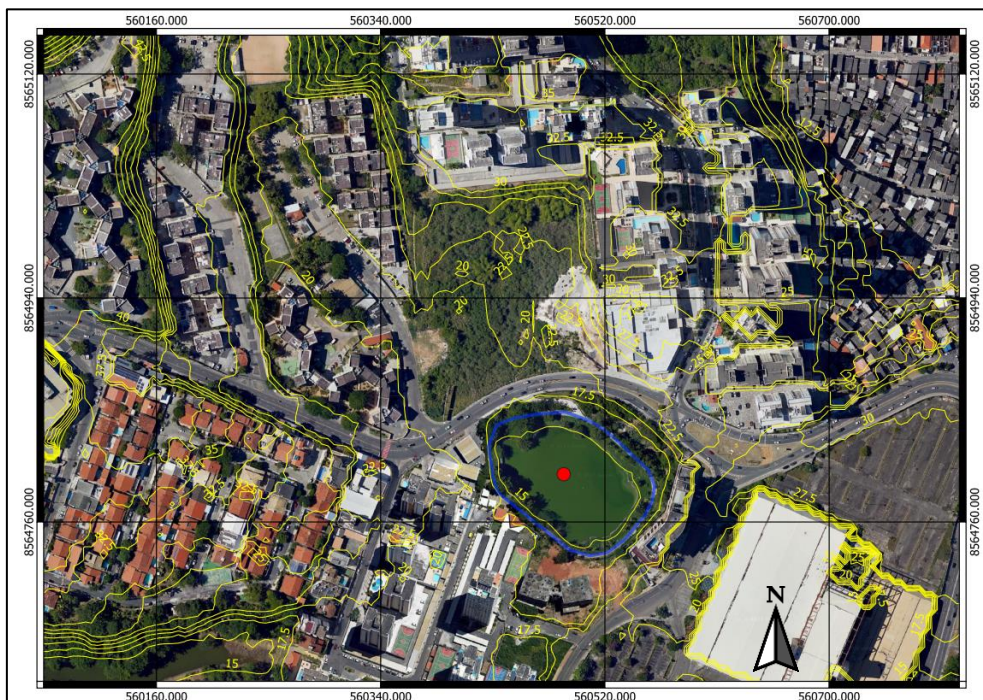
Primeiramente, foi necessário identificar a região da lagoa através do Google Satélite (Figura 5), então foi importado o MDT retirado do topodata, e assim pode-se ter acesso as curvas de nível (Figura 4).

Figura 4. Região da Lagoa dos Frades



Fonte: Google Satélite

Figura 5. Região da Lagoa dos Frades



Fonte: Google Satélite

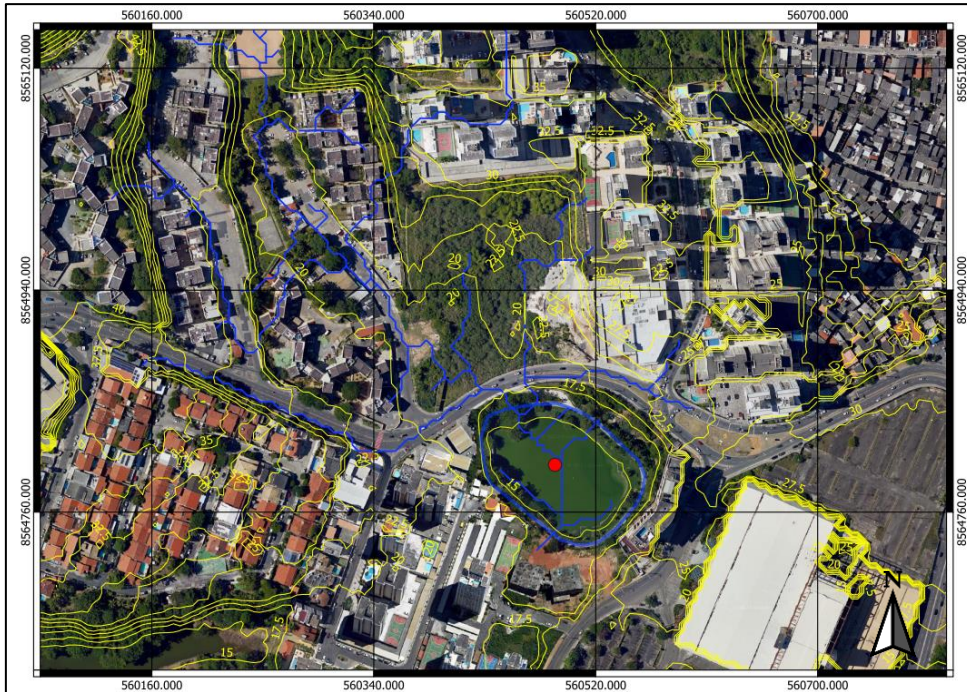
2.2.4 Análise Hidrológica

A partir das curvas de nível, foi necessário importar dados hidrológicos da região, para isso, utilizou-se o próprio Qgis para retirar essas informações com a ferramenta Grass, Geographic Resources Analysis Support System), que funciona como uma extensão do Qgis para a integração de diferentes bases de dados, possibilitando a extração de mapeamento de bacias hidrográficas. Essa análise feita pelo Grass, traz o cadastro hidráulico onde é demonstrado o acúmulo de fluxo, direção de drenagem, localização de córregos e bacias hidrográficas.

A caracterização de uma bacia hidrográfica acontece quando, com base na topografia, identifica-se as direções de drenagem, isto é, as direções do escoamento de água no lugar de estudo. Com base nesses dois fatores, é possível analisar se é comprovado a veracidade do estudo, pois se a topografia estiver divergente da direção de fluxo, precisa ser feita uma segunda análise com outra base de dados do modelo digital de terreno ou da direção de drenagem. Na Figura 6 abaixo, é demonstrada a compatibilização da topografia e da direção

de drenagem, e mostra que o fluxo aponta para a Lagoa dos Frades como possível exutório para a bacia que posteriormente será delimitada.

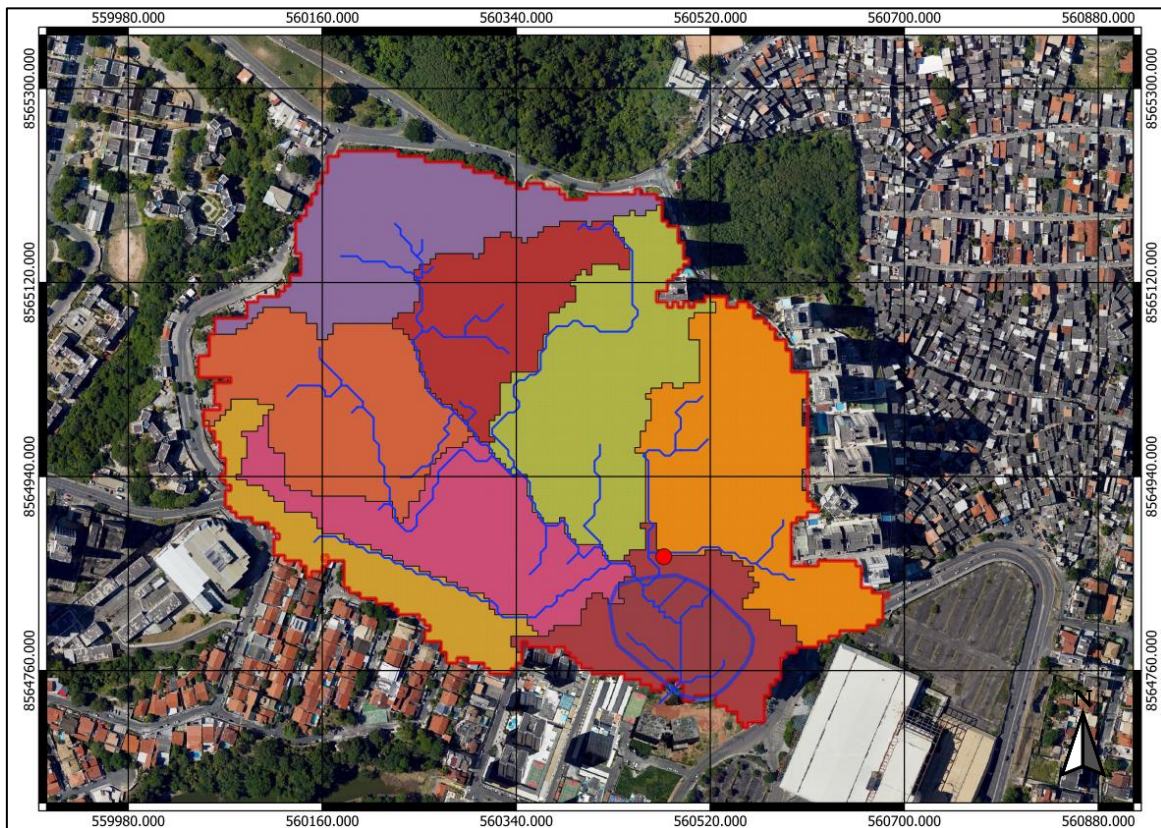
Figura 6. Direção de Drenagem e Topografia da Região



Fonte: Contexto do Autor (Qgis, 2023)

Para a delimitação da bacia, foi preciso identificar as sub-bacias considerando cada trecho de ramificação e concluir que o conjunto delas formam a bacia hidrográfica contribuinte à Lagoa dos Frades (Figura 7).

Figura 7. Sub-bacias de Drenagem e Bacia Hidrográfica



Fonte: Contexto do Autor (Qgis, 2023)

Definida a bacia hidrográfica correspondente a contribuição da Lagoa, pode ser iniciada a modelagem do sistema no software SewerGems, que permite análises aprofundadas sobre o sistema de microdrenagem urbana na região do Stiep.

2.2.5 Modelos Hidrológicos e Hidráulicos;

A partir das visitas técnicas ao local de estudos, foi preciso entender o funcionamento da lagoa de retenção e no que implica a funcionalidade dela, no comportamento das chuvas que posteriormente seria comprovado pelos softwares utilizados no estudo. Através do livro *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*, de Aluísio Pardo Canholi, 2014, é possível entender alguns princípios necessários para levar em consideração quando se estuda o comportamento de enchentes em certos locais. Segundo CANHOLI (2014), a determinação da intensidade média da precipitação, não é suficiente para a realização de projetos de reservatórios de controle de cheias, é necessário a

definição do hietograma da precipitação, isto é, a intensidade de precipitação ao longo do seu tempo e do volume de deflúvio, escoamento.

A partir dos conceitos bibliográficos e do entendimento necessário para conceituar a bacia de retenção em relação aos sistemas de microdrenagem comuns, foi preciso coletar os dados pluviométricos da cidade de Salvador para submeter o sistema em eventos de chuvas críticas.

Os dados pluviométricos foram retirados a partir de pesquisas na base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que é um portal onde as informações são obtidas a partir do monitoramento, análise e previsão de tempo e de clima e que é feita por estações de sondagem de ar superior (radiossonda), estações meteorológicas de superfície e a maior rede de estações automáticas da América do Sul. Portanto, os dados não se limitam somente à pluviometria do país, mas também à temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação e outras variáveis. Assim, o portal do INMET conta com todos os dados disponíveis gratuitamente e democraticamente.

Para TUCCI (1993, pag. 813), “as técnicas hidrológicas de estudos de drenagem urbana aplicam-se a bacias hidrográficas de pequeno ou médio porte e, portanto, é importante dispor de algum critério de distinção entre as bacias para poder escolher os métodos e os parâmetros hidrológicos mais adequados para cada tipo de bacia”. Os aspectos sociais e econômicos já discutidos, como análise de histórico de chuvas e o contexto da região, definem qual será o período de retorno adotado, que se refere ao “inverso da probabilidade de um determinado evento hidrológico ser igualado ou excedido em um ano qualquer” (Tucci,1993), a determinação da chuva crítica adotada vem dos dados adquiridos através do INMET, as vazões de projeto são determinadas a partir da caracterização e estudo das bacias hidrográficas e o dimensionamento das estruturas hidráulicas vem a partir da base de cálculo do SewerGems.

Os modelos hidrológicos são todas análises das bacias hidrográficas e contribuição de chuvas críticas e os modelos hidráulicos são todos os dimensionamentos e análises de fluxo d’água em condutos e elementos de

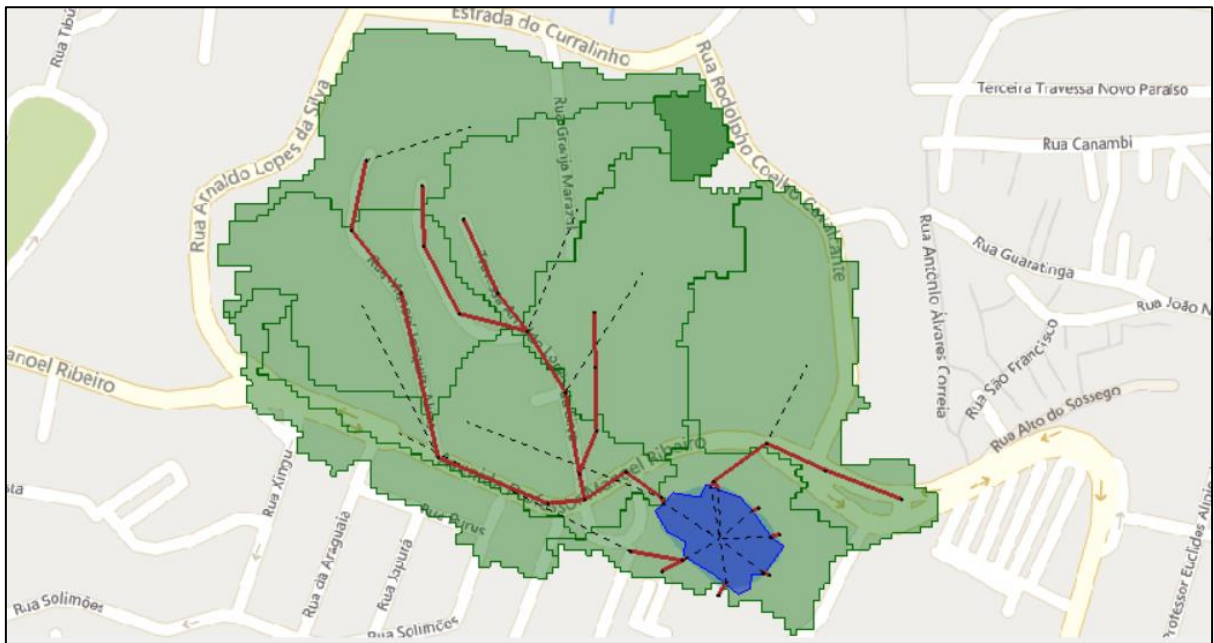
drenagem. É possível concluir que a lagoa dos Frades funcionava em regime natural de fluxo de águas, como uma bacia de retenção e atualmente se tornou um importante elemento no sistema de microdrenagem, amortecendo as águas provenientes do escoamento superficial da região de análise no STIEP.

2.2.6 Ferramentas e Tecnologias de modelagem e simulação computacional;

Para a modelagem de um sistema de microdrenagem, foi necessário escolher o software adequado que contemple todas os fatores externos e que possibilita selecionar a metodologia de cálculos adequada para o sistema em análise. Sendo assim, o SewerGems, atendeu as necessidades para o estudo da monografia em questão. O software criado pela empresa, Bentley Systems, com o objetivo de modelar projetos de drenagem, para a análise de remediação de transbordamento, ou de rede de esgoto urbano. Proporciona a integração de dados do AutoCad, arquivos GIS, SWMM, dados SCADA, bancos de dados de planilhas e a própria integração com outros programas da Bentley, onde acontece a interoperabilidade para permitir o compartilhamento econômico e o fluxo de informações entre equipes.

A primeira ação feita no SewerGems foi importar a análise hidrológica feita no QGis e cadastrar os elementos de drenagem, previamente vistos na visita técnica ao local. As bacias hidrográficas já georreferenciadas são importadas, através da ferramenta ModelBuilder, que permite a importação de arquivos em GIS, diretamente no mapa disponibilizado no software e os elementos de drenagem são posicionados de acordo com o cadastro técnico feito in loco, porém, as tubulações enterradas não puderam ser cadastradas, por isso se utilizou de uma estimativa com base em dados disponibilizados pela prefeitura e o projeto de revitalização da drenagem de uma nova rua na área da bacia hidrográfica.

Figura 8. Projeto inicial do cadastro técnico e Bacias hidrográficas



Fonte: Contexto do Autor (SewerGems, 2023)

Após a inserção dos elementos hidráulicos e hidrológico foi preciso inserir os dados de chuva, que de acordo com a equipe da CODESAL, Defesa Civil de Salvador, em novembro de 2019, a cidade de Salvador atingiu um estado de emergência devido as chuvas críticas durante o mês. Esse fato pode ser comprovado através da Tabela 1 disponibilizada pelo INMET referente aos dados pluviométricos equivalentes e após análise foi usada a precipitação crítica do dia 26 de novembro de 2019, abaixo:

Tabela 1. Dados Pluviométricos (26 de novembro de 2019)

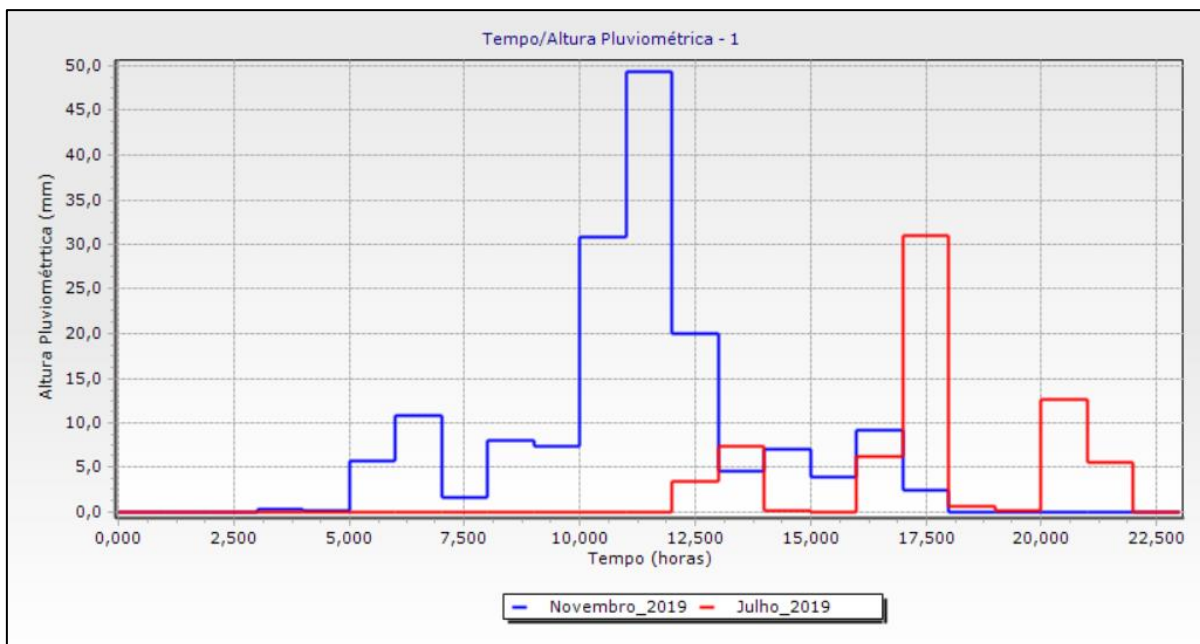
Data	Hora (UTC)	Chuva (mm)
26/11/2019	0	0,2
	1	0
	2	0
	3	0
	4	0,4
	5	0,2
	6	5,8
	7	10,8
	8	1,6
	9	8
	10	7,4
	11	30,8
	12	49,4
	13	20
	14	4,6
	15	7
	16	4
	17	9,2
	18	2,4
	19	0
	20	0
	21	0
22	0	

Fonte: INMET (2023)

Com pode-se observar na Tabela X, no horário de 12:00 h a chuva atingiu 49,4 mm de precipitação em uma hora o que pode classificar a chuva de Salvador como crítica ou chuva forte, pois atingiu 1/3 do volume crítico em 1 horas, segundo a CODESAL, defesa civil de Salvador, que classifica uma chuva crítica aquela que supera um volume de 150 mm em 72 horas. Esse dado foi importado para o banco de dados do SewerGems, além do dado de junho de

2019 que também foi utilizado por fins comparativos e não foi usado nas simulações (Gráfico 1).

Gráfico 1. Precipitação para Simulação



Fonte: Contexto do Autor (2023)

Outros parâmetros precisaram ser definidos para a simulação do sistema de microdrenagem foram as metodologias de cálculo. Sendo assim, o SewerGems disponibiliza quatro tipos de soluções hidráulicas: implícita (SewerGems Onda Dinâmica), explícita (solução SWMM), GVF-Convex e GVF-Racional.

- a) Implícita (Onda dinâmica): a resolução através dos cálculos, onde a dinâmica se baseia nas equações de Saint. Venant e foi desenvolvido pela Bentley com base no modelo “US National Weather Service”, que promove dados climáticos e hidrológicos, previsões climáticas e avisos. Esse método usa as mesmas equações para gravidade e pressão nas diversas partes do sistema e só soluciona fluxos dinâmicos. Pode ser aplicado para sistemas de drenagem, esgoto e sistemas combinados ou interligados;
- b) Explícita (solução SWMM): esse método resolve também as equações de St. Venant, porém baseados no modelo do EPA-SWMM e assim como no implícito, utiliza as mesmas equações para gravidade e pressão nas diversas partes do sistema. Pode também determinar

rotas de fluxo usando o cálculo da onda cinemática ou fluxo uniforme, mas não se aplica a remansos e pode ser aplicado também para sistemas de drenagem, esgoto e sistemas combinados porém sem considerar condutos forçados;

- c) GVF-Convex: o cálculo separa o sistema de condutos livres e forçados em subsistemas, para livres utiliza roteamento convexo e um perfil de fluxo gradualmente variado (GVF) para projeto e análises de redes de esgoto, incluindo gravidade mista e fluxo de pressão. Para condutos forçados, utiliza metodologia específica da própria empresa como utilizado no software específico “WaterGems”. Esse método atua melhor em fluxos estáveis e usa o cenário de fluxo extremo nesse caso, onde pode ser aplicado para sistemas de esgoto, combinados, mas especialmente para sistemas com bombeamento e pressurização nos condutos;
- d) GVF-Racional: o método racional é utilizado para projetar um sistema sob condições de pico de fluxo com base na intensidade de pico de chuva. Este é ideal para sistemas onde a análise ocorre em uma pequena área onde apenas o fluxo de pico é de interesse ou projeção com o método racional, que conclui que a vazão máxima ocorre de forma constante em toda a área de escoamento da bacia hidrográfica.

Considerando todas as contribuições dos métodos de cálculo do SewerGems, foi definido o método Implícito (Onda dinâmica) para o estudo em questão, visto que atua em sistemas de drenagem analisando as sobrecargas e extravasamento na rede, podendo estimar a variação do volume da lagoa que é o principal objeto de estudo, além de possibilitar a visualização dos perfis longitudinais do sistema que permite comparar os diferentes caminhos críticos. A análise pelo método Implícito, no SewerGems, permite a produção de hidrogramas de vazão além de comparar em diferentes momentos da contribuição de água e escoamento superficial registrado.

Além disso, alguns outros parâmetros de cálculo precisaram ser escolhidos para melhor análise do estudo de caso e estes estão apresentados no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1. Parâmetros de Cálculo do SewerGEMS

PARÂMETROS DE CÁLCULO				
	Perda de Carga	Infiltração	Runoff	Tempo de Concentração
Descrição	Em razão do atrito causado entre o fluido e o material da tubulação, a perda de carga se refere a perda de energia que a água em relação ao material utilizado na tubulação e mudanças de direção.	Parâmetro referente ao cálculo da perda de água por infiltração no solo e é calculado a partir do coeficiente de Runoff	Grau de absorção do solo em relação a água precipitada. É feito com base na permeabilidade do solo.	É o tempo que a precipitação leva para percorrer o maior comprimento da bacia em que atinge, sendo esse da foz ao exutório
Método Escolhido	Curva da Vazão Perda de Carga	Método SCS	Hidrograma Unitário	Retardo do SCS
Descrição do Método	Calculado com base na determinação do fator de atrito pelo número de Reynolds, que é o coeficiente adimensional que fala sobre a turbidez do percurso da água na tubulação.	Assume que em uma determinada bacia hidrográfica, num evento pluvial é assumido que o quociente do volume de infiltração pelo volume máximo potencial de retenção é igual ao quociente do volume instantâneo de escoamento direto pelo volume total de chuva.	O grau de absorção do solo é calculado com base no gráfico do hidrograma unitário que relaciona a vazão de precipitação com o tempo de concentração. O gráfico formado com esses parâmetros pode ser interpretado com base no tempo do pico de vazão.	Relaciona o tempo de concentração com o tempo de retardo que se calcula pela fórmula de Kirpich.

Fonte: Contexto do Autor

Todos os cálculos foram feitos através do próprio software e somente foi necessário a inserção de parâmetros básicos, como o material da tubulação, comprimento do tubo e porcentagem de permeabilidade.

2.2.7 Plataforma para integração de dados e análise de gêmeos digitais;

Para a aplicação final dos gêmeos digitais na gestão de inundações urbanas, pode-se introduzir o conceito de monitoramento em tempo real através do

software SewerSight. Produzido pela Bentley Systems, promove a integração de informações da base de dados meteorológicos disponibilizados por plataformas de medições ou até mesmo a defesa civil de Salvador. No estudo proposto foi realizado o teste com dados meteorológicos da “The Wheater Company”, da empresa IBM, provedor de informações em tempo real com precisão e tem sido a base de dados atual do SewerSight.

A integração de um modelo digital dimensionado e simulado no SewerGems com a plataforma SewerSight permite a monitorar cada elemento do sistema com base nas alterações de volume de precipitação. Anteriormente, essa análise precisava ser feita manualmente, mudando o registro de precipitação (Gráfico X), mas agora é realizada automaticamente por meio da plataforma. Essa automatização traz várias vantagens, incluindo a possibilidade de inserir alarmes para situações de chuvas críticas que podem causar inundações permitindo que as autoridades ou operadores do sistema sejam notificados imediatamente quando condições críticas de chuva são detectadas no software.

A plataforma SewerSight permite visualizar os diferentes componentes do sistema, como tubulações, bueiros, estações de bombeamento, entre outros, e analisar seu desempenho com base nos dados do modelo previamente dimensionado no SewerGems. É importante salientar que o SewerSight não realiza o projeto de microdrenagem, mas promove o monitoramento de um projeto ou cadastro na cidade, bairro ou região.

Figura 9. Interface SewerSight



Fonte: Bentley Systems

3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Ao realizar a modelagem de um sistema de microdrenagem urbana, foi necessário utilizar conceitos e diferentes bases de dados para análise. No caso do SewerGems, esses dados foram calculados automaticamente no próprio software e nesta seção, será apresentado os resultados obtidos a partir da simulação de uma rede no Stiep, contendo o elemento de drenagem mitigador de inundações, a bacia de retenção, Lagoa dos Frades. Os resultados foram fundamentais para avaliar a eficácia da interligação do sistema de drenagem de uma região a uma bacia de retenção.

Para alcançar esse objetivo, foi realizado a análise detalhada dos dados resultantes da simulação, considerando fatores importantes como volume da Lagoa, vazão de projeto, métodos de cálculo e perda de carga. No entanto, é importante destacar que o sistema atua o mais próximo do cenário atual, porém se considera a margem de erro visto que não foi possível cadastrar com a máxima exatidão os condutos existentes da região.

A seguir, serão apresentados os principais resultados dessa pesquisa, destacando as descobertas mais relevantes e as tendências observadas nas respostas dos gráficos resultantes. Esses, serão discutidos e interpretados em consonância as teorias e conceitos discutidos na revisão bibliográfica, ressaltando a utilização dos softwares como gêmeos digitais SewerGems e SewerSight para aplicação na gestão de inundações urbanas.

3.1 Resultados da modelagem e simulação computacional SewerGems

Considerando o método de cálculo implícito, ou onda dinâmica, os resultados irão se basear na teoria de Saintt. Venant que se baseia na lei da conservação das massas e a lei do equilíbrio de forças. Sendo assim, a partir desse pressuposto, pode-se considerar os seguintes resumos de parâmetros cálculo (Figura 10. Interface SewerGEMS – Resumo dos parâmetros de cálculo Figura 10) disponibilizado pelo software no momento do processamento do modelo:

Figura 10. Interface SewerGEMS – Resumo dos parâmetros de cálculo

Cenário		
Rótulo:	Base	
Execução concluída:	24/05/2023 00:08:37	
Tempestade		
Rótulo:	Base Escoamento de água da chuva	
Evento de tempestades globais:	Tempo/Altura Pluviométrica - 1 (Novem...	
Período de Retorno:	20	anos
Resumo executivo do cálculo		
Volume de carga extra total:	31.384,7	m³
Volume de transbordo do sistema total:	-21.499,2	m³
Alteração do volume de sarjeta total:	(N/A)	m³
Total do volume de infiltração do reservatório:	34,7	m³
Volume total do sistema de vazão de saída:	106,0	m³
Alteração total do volume do sistema:	3.878,3	m³
Erro de continuidade:	0,6	%
Iterações N-R totais:	13313	

Mostrar esta caixa de diálogo depois de Calcular

Relatório Resumo detalhado Fechar Ajuda

Fonte: Contexto do Autor (SewerGEMS, 2023)

No resumo de cálculo, pode se tirar as primeiras conclusões a respeito da utilização da bacia, como o volume de carga extra e transbordo no sistema de acordo com a precipitação informada em “Evento de tempestades globais”. Como não foi possível identificar o perfil da lagoa, o volume no início da simulação foi nulo, portanto, o volume de carga extra total é referente ao volume total da Lagoa dos Frades. Através do cálculo de infiltração pelo método do número de curva SCS, pode ser observado o volume de 34,7 m³.

Estas informações iniciais contribuem para a análise dos gráficos comparativos.

Figura 11. Resumo detalhado de parâmetros iniciais de cálculo-Bacias de Contribuição

Resumo detalhado do cálculo							
Opções de cálculo	Resumo das bacias de contribuição		Resumo geral	Resumo de nó	Resumo de sarjetas		
	Rótulo	Método do runoff	Método de perda	Lâmina de água de chuva total (mm)	Volume (escoamento total) (m³)	Vazão (máxima) (l/s)	Tempo (vazão máxima) (horas)
563: SubBacia2	SubBacia2-1	Hidrograma Unitário	Número de curva SCS	161,8	3.826,9	337,29	11,950
564: SubBacia3	SubBacia3-1	Hidrograma Unitário	Número de curva SCS	161,8	2.201,6	206,40	11,950
565: SubBacia4	SubBacia4-1	Hidrograma Unitário	Número de curva SCS	161,8	3.754,5	352,01	11,950
566: SubBacia5	SubBacia5-1	Hidrograma Unitário	Número de curva SCS	161,8	4.977,3	466,62	11,950
567: SubBacia6	SubBacia6-1	Hidrograma Unitário	Número de curva SCS	161,8	4.051,0	379,72	11,950
568: SubBacia7	SubBacia7-1	Hidrograma Unitário	Número de curva SCS	161,8	4.111,4	385,47	11,950
569: SubBacia8	SubBacia8-1	Hidrograma Unitário	Número de curva SCS	161,8	3.175,4	297,71	11,950
570: SubBacia9	SubBacia9-1	Hidrograma Unitário	Número de curva SCS	161,8	5.160,5	483,78	11,950

Fonte: Contexto do Autor (SewerGEMS, 2023)

Para cada sub-bacia que compõe a grande bacia hidrográfica delimitada, é calculado os diferentes volumes, baseado no escoamento superficial total, vazão máxima e o momento que a subbacia atinge sua vazão máxima, que observando o Gráfico 1, coincide com o momento de maior volume de precipitação. As propriedades da bacia são apresentadas segundo a metodologia de cálculo, ou seja, tempo de concentração e cálculo runoff (Figura 12).

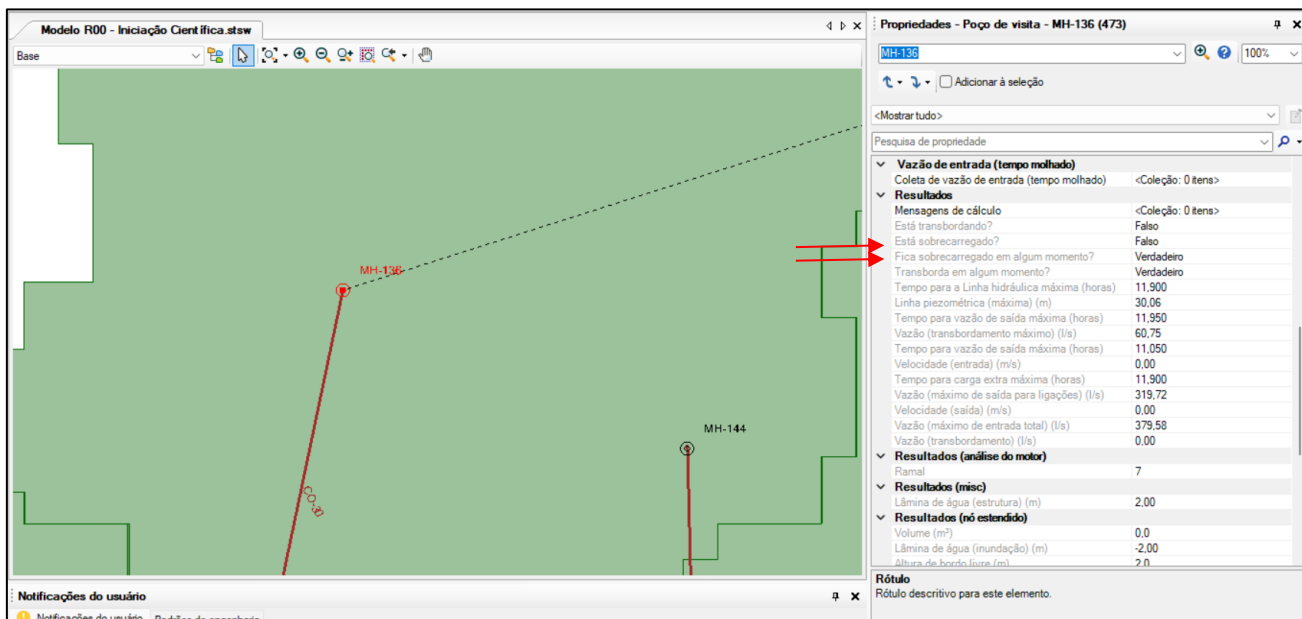
Figura 12. Propriedades Sub-bacias

Runoff	
Método do runoff	Hidrograma Unitário
Percentual impermeável (%)	85,0
Área definida por	Área única
Método de perda	Número de curva SCS
Número de curva SCS	94,000
SCS CN (composto)	94,000
Tempo de secagem (dias)	7,0
Método do Hidrograma Unitário	Hidrograma Unitário SCS
Tipo de entrada de Tc	Tc composto
Coleta de dados de Tc	<Coleção: 1 item>
Tempo de concentração (composto) (horas)	0,035
Método do Hidrograma Unitário SCS	Curvilíneo padrão

Fonte: Contexto do Autor (SewerGEMS, 2023)

Relativo aos poços de visitas, que diretamente recebem a contribuição do escoamento superficial, para fins de estudo no software, a partir das decisões de metodologia de cálculo, nas próprias propriedades para cada poço pode-se observar algumas conclusões iniciais (Figura 13), que posteriormente serão comprovadas com a vista dos perfis principais (Apêndice A).

Figura 13. Propriedades Poços de Visitas- Resultados Iniciais

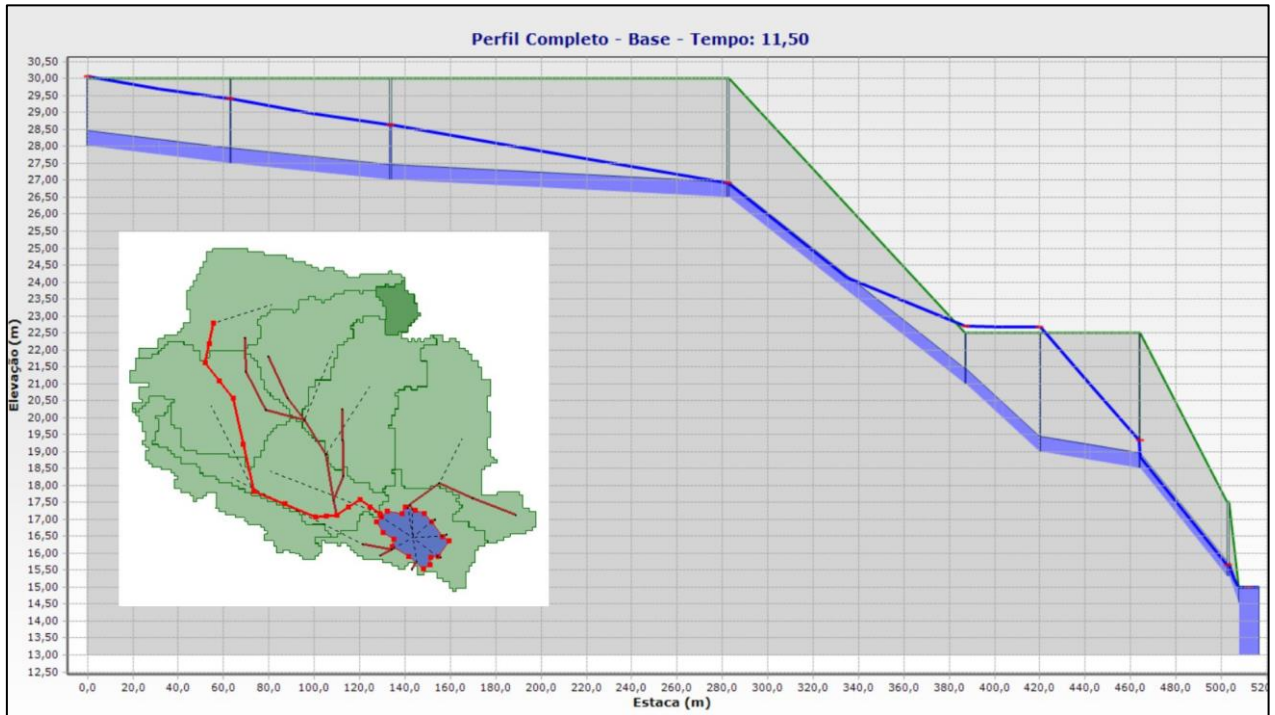


Fonte: Contexto do Autor (SewerGEMS, 2023)

É possível observar na seção destacada em vermelho na Figura X acima, o tempo para carga máxima e a vazão máxima de entrada que coincide com os valores das bacias hidrográficas que contribuem volumetricamente no poço de visita. É possível observar que a vazão máxima de entrada do poço de visita é o mesmo valor que o da bacia hidrográfica, porém, deve ser levado em conta o valor de vazão de transbordamento, ou seja, o valor de entrada que causa o transbordamento do poço e este deve ser observado comparando com o volume da bacia.

Como exemplo de análise e resultado de um poço de visita, identificado como MH-136 na Figura 13, acima, pode-se observar o perfil longitudinal (Figura 14) do caminho que a água faz do poço à lagoa. Na figura, pode-se observar que apesar do sistema aparentemente estar sob pressão, é possível identificar que a bacia de retenção está atingindo sua capacidade máxima, portanto, servindo ao seu propósito. O software não considera o extravasamento completo, porém quando se atinge a altura máxima da lâmina d'água na lagoa, é viável a conclusão de que está sendo considerado o amortecimento da chuva crítica no momento crítico.

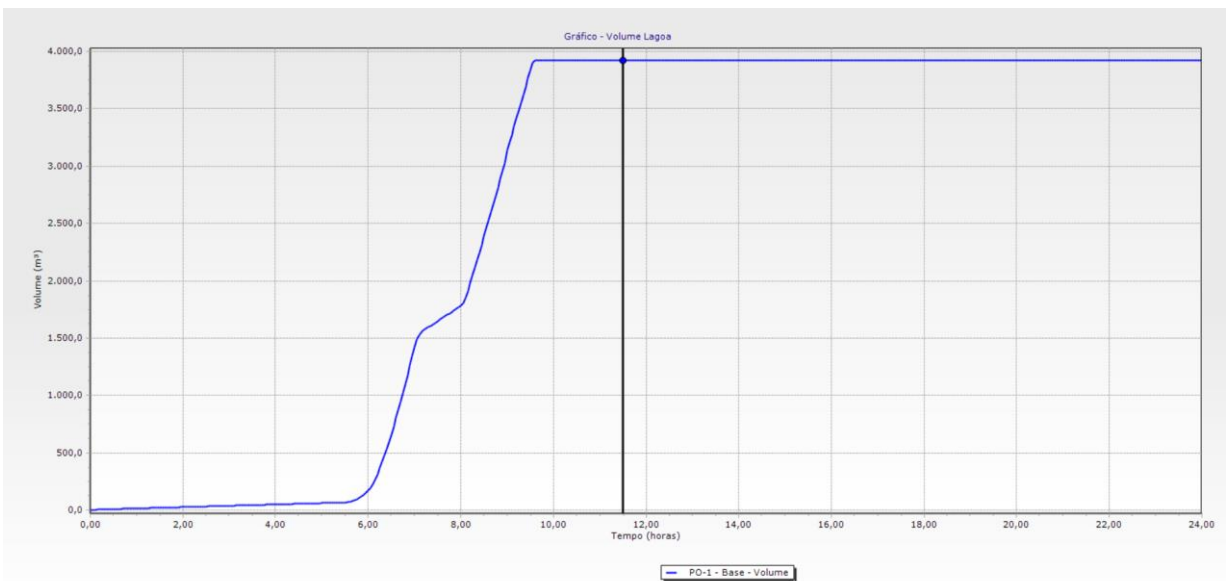
Figura 14. Perfil Longitudinal Completo do Caminho Seleccionado



Fonte: Contexto do Autor (SewerGEMS, 2023)

Como mencionado anteriormente, a modelagem no SewerGEMS considera o volume inicial da lagoa como nulo, isto pode ser demonstrado no Gráfico 2 abaixo, que retrata o volume da lagoa ao longo do tempo de precipitação registrado.

Gráfico 2. Volume da Lagoa

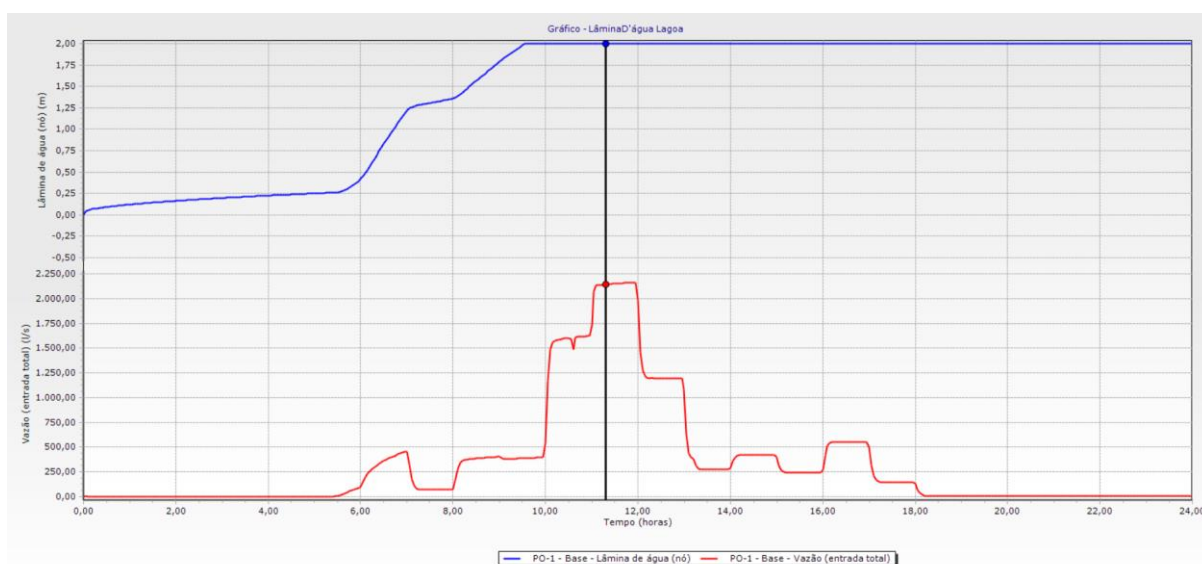


Fonte: Contexto do Autor (SewerGEMS, 2023)

É possível observar que no período de seis a oito horas, a lagoa sofre um aumento brusco de volume devido a precipitação registrada no momento, nas horas seis, sete e oito sendo essas 5,8 mm, 10,8 mm e 1,6 mm respectivamente, como visto na Tabela 1 de dados pluviométricos. No momento do volume de precipitação crítico a Lagoa dos Frades aumenta consideravelmente e se mantém constante até o final da simulação, o que pode ser considerado que o balanço hídrico no momento de entrada de água precipitada não equivale a quantidade de água infiltrada registrada.

Abaixo, observa-se o comportamento da lâmina d'água juntamente com a variação do volume (Gráfico 3).

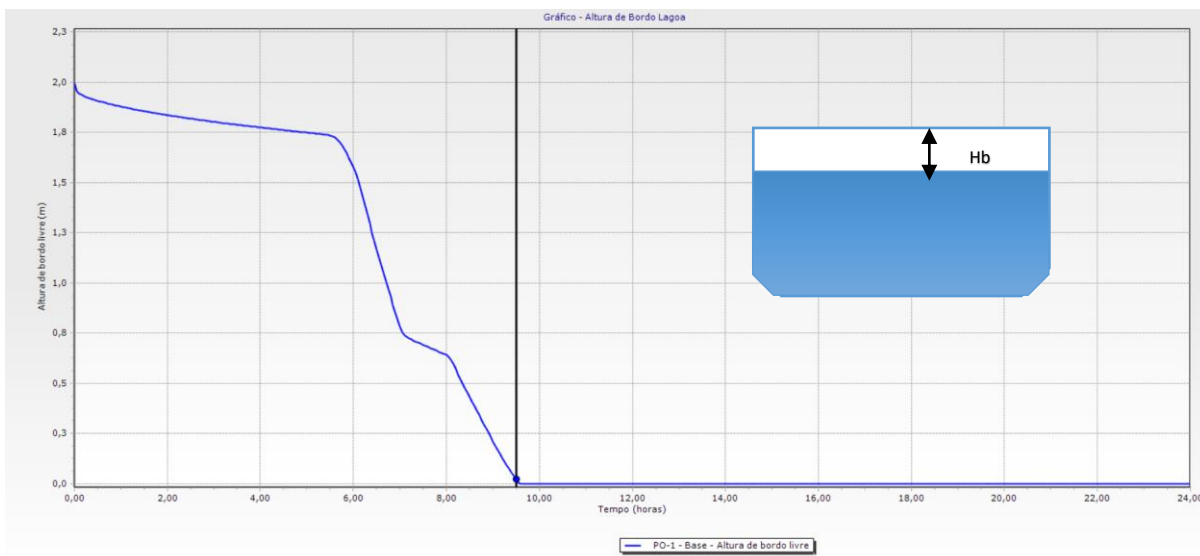
Gráfico 3. Lâmina d'água e Volume da Lagoa



Fonte: Contexto do Autor (SewerGEMS, 2023)

A altura de bordo (H_b) da Lagoa dos Frades foi importante para a análise da eficiência hidráulica dela como bacia de retenção pois para manter o funcionamento da lagoa, era preciso que o nível d'água se mantesse constante ou que fosse controlável para não atingir um nível mais baixo que é possível. Devido a contribuição de carga sanitária causada por prédios não regularizados, a carga orgânica da lagoa pode afetar o ecossistema. Sendo Assim, ao perceber a contribuição do escoamento superficial da bacia hidrográfica, através do sistema de drenagem, a altura de bordo diminui após o momento crítico da chuva e se mantém nula pois teoricamente a água atinge a margem da Lagoa dos Frades.

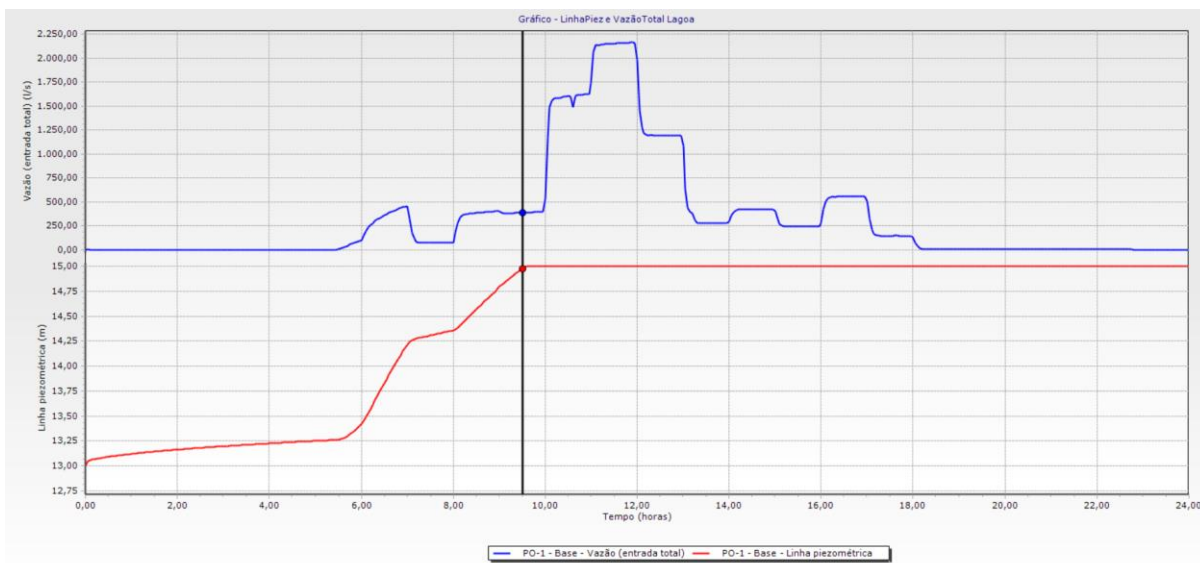
Gráfico 4. Altura de Bordo Lagoa



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerGEMS)

A linha piezométrica, dada em metros, é a soma da energia potencial de posição em relação ao plano horizontal de referência, no caso o nível da lagoa em metros, e a energia de pressão. Pode ser conhecida também como linha de carga efetiva e pode ser interpretada no gráfico abaixo como o ponto em que a lagoa atinge sua carga efetiva máxima e mostra que ela se mantém constante ao longo do tempo após o horário crítico de maior volume de chuva.

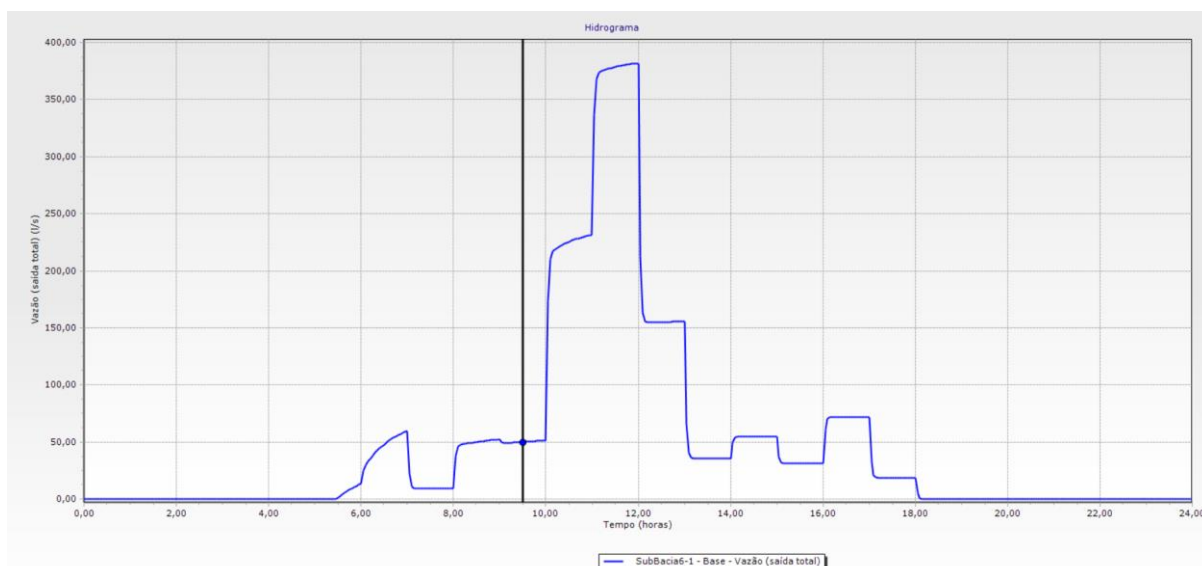
Gráfico 5. Linha Piezométrica e Vazão Total



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerGEMS)

O hidrograma de uma bacia de retenção é aquele que informa a vazão de pico, ou seja, qual é o valor mais alto de vazão (m^3/h) e a análise a ser feita no hidrograma é, se a lagoa suporta a carga hidráulica contribuinte. No caso da Lagoa dos Frades, devido o projeto local considerar a margem da lagoa de 2 metros de altura, desde o ponto mais fundo, em teoria sofre o extravasamento. Porém, assim como na análise da altura de bordo, o objetivo prático da lagoa é recolher a vazão excedente dos elementos do sistema de microdrenagem. Como é mostrado no perfil da Figura 14, os poços de visitas são transbordados teoricamente, porém se tratando se uma Lagoa de Detenção, a carga exedente se torna vazão complementar no hidrograma abaixo.

Gráfico 6. Hidrograma



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerGEMS)

A vazão de entrada total em litros por segundo é de 2.161,92 (l/s), o cálculo do software entrega dois tipos de resultados. O primeiro é referente ao estado da lagoa no horário das 11,95 horas. Já no resultado da simulação do fim das 24 horas, é demonstrado na Figura 15 que a bacia não transborda, ou seja, durante um evento de chuva crítica a Lagoa dos Frades é eficaz no amortecimento de vazões excedentes.

Considerando o cenário atual da Lagoa, que se encontra, não recebendo vazão suficiente, pode-se concluir que a bacia hidrográfica que abrange a região de contribuição é suficiente para abastecê-la, porém na prática, o sistema de

microdrenagem da região não contribui em sua totalidade para a lagoa, o que pode ser razão da diminuição drástica do nível d'água.

Figura 15. Comportamento da Bacia de Detenção.

ID	Rótulo	Tipo de volume	Tipo de elevação inicial	Elevação (inicial) (m)	Linha piezométrica (m)
312	PO-1	Elevação-área	Cota de Fundo		15,00
Armazenamento (máximo) (m ³)	Vazão (entrada total) (l/s)	Vazão (saída total) (l/s)	Está transbordando?	Notas	
3.920,0	2.161,92	1,50	Verdadeiro		
Hora atual: 11,95 horas					

Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerGEMS)

Figura 16. Resultados Da Bacia de Detenção

▼ Resultados	
Mensagens de cálculo	<Coleção: 0 itens>
Está transbordando?	Falso
Transborda em algum momento?	Verdadeiro
Lâmina de água (nó) (m)	0,00
Linha piezométrica (m)	13,00
Tempo para a Linha hidráulica máxima (h)	9,600
Linha piezométrica (máxima) (m)	15,00
Tempo para vazão de saída máxima (hora)	11,850
Vazão (transbordamento máximo) (l/s)	2.161,36
Tempo para vazão de saída máxima (hora)	9,600
Tempo para carga extra máxima (horas)	11,850
Vazão (máximo de saída para ligações) (l/s)	1,50
Vazão (máximo de entrada total) (l/s)	2.162,30
Vazão (transbordamento) (l/s)	0,00
Tempo para armazenamento máximo (hora)	9,600
Armazenamento (máximo) (m ³)	3.920,0
Vazão (perda por vazamento) (l/s)	0,00

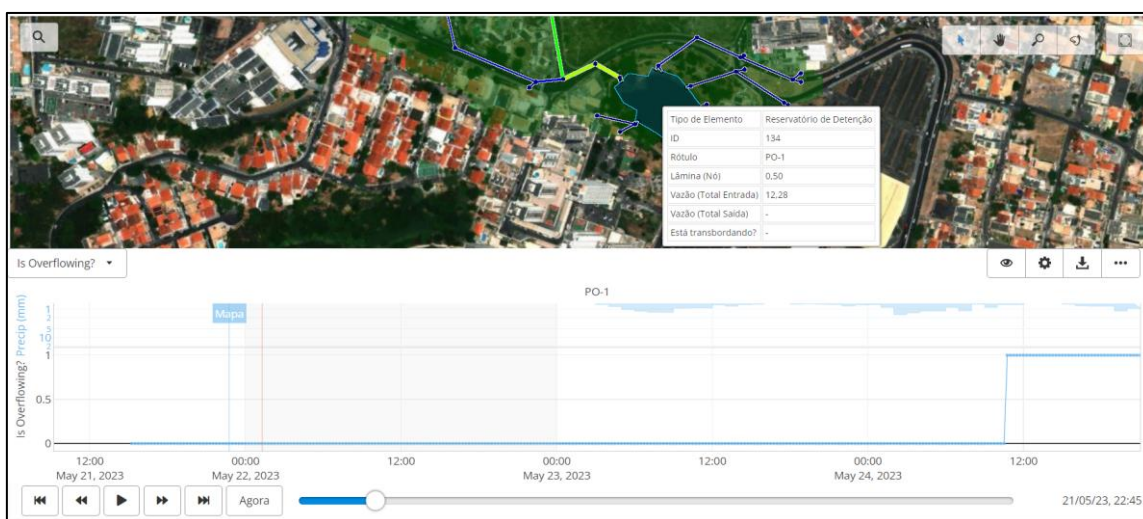
Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerGEMS)

3.2 Análise de dados no SewerSight

O software SewerSight atua como uma extensão do SewerGEMS, portanto, toda a modelagem foi utilizada a partir do SewerGEMS. Importando o modelo para o software, pode-se contemplar, com os dados meteorológicos, a simulação em tempo real da rede de microdrenagem da região da Lagoa dos Frades. Como o software só foi aprimorado no ano de 2023, o monitoramento só foi possível ser feito durante o ano em questão.

Na Figura 17, é demonstrada a interface do software com a simulação do dia 22 de maio de 2023. Ao selecionar a Lagoa dos Frades, é possível observar a precipitação e o status da lagoa, podendo ser “transbordando”, “não transbordando” e “em estado de cheia”. O ideal para a lagoa dos frades seria estar no estado de cheia pois, como mencionado nos resultados referentes a modelagem, o volume da lagoa parte de um ponto zero, ou seja, se a lagoa não está transbordando há possibilidade de estar recebendo pouca contribuição de água. Partindo do pressuposto que toda a rede de microdrenagem analisada a partir da bacia hidrográfica, na qual a Lagoa dos Frades é o exutório, é possível deduzir que a contribuição para mantê-la no nível requerido para a manutenção do ecossistema, é sustentável.

Figura 17. Status da Lagoa dos Frades



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerSight)

Considerando um episódio de chuva mais intensa, pode-se observar na Figura 18, que os condutos sobrecarregados se apresentam em vermelho e no quadro é possível reconhecer quais são as vazões críticas que afetam o sistema.

No caso da Figura, os condutos em vermelho mostram as vazões críticas, que é considerado acima de $45,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Esse evento pode ser analisado com mais precisão, ao ser gerado o gráfico de precipitação e vazão, demonstrado na Figura 18.

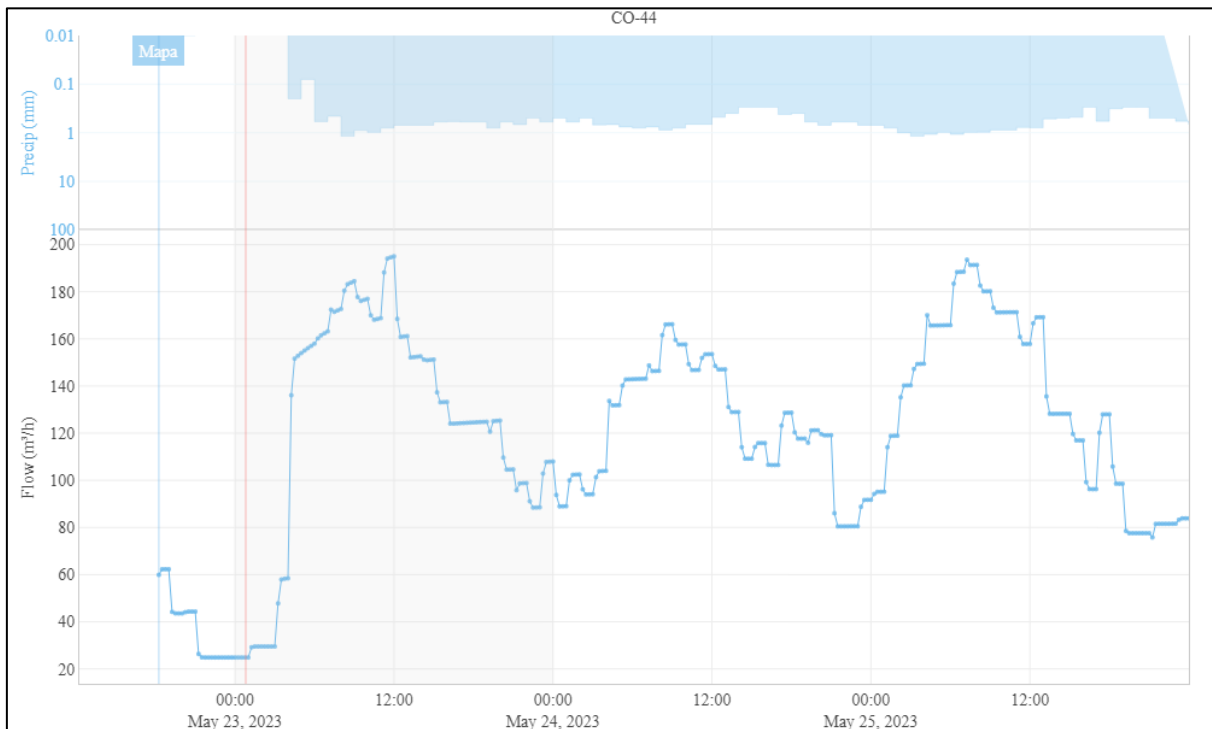
Figura 18. Simulação 22/05/2023, 18:15h, Tubulação CO-44



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerSight)

A precipitação máxima atingida nesse período foi de 1.18 mm e gerou uma vazão acumulada, juntamente a partir das 00:00h do dia 23, uma vazão de aproximadamente $172 \text{ m}^3/\text{h}$, ultrapassando o valor crítico máximo de vazão. Esse episódio, pode levar a compreender que as tubulações de microdrenagem podem estar subdimensionadas e causando a situação de conduto forçado, comum em situações de condutos livres.

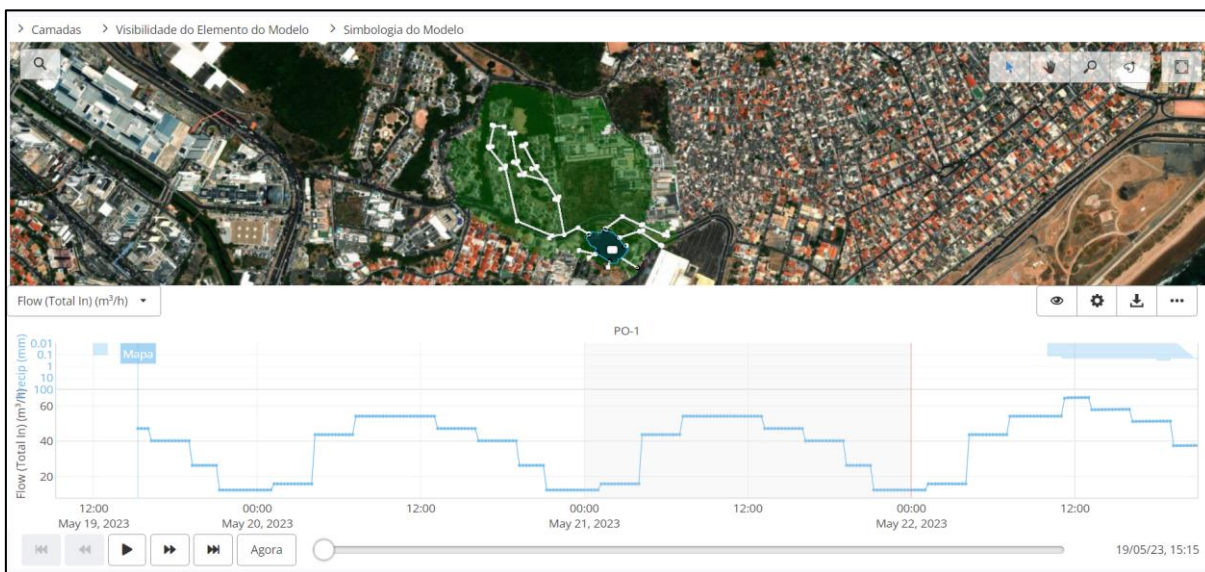
Gráfico 7. Vazão e Precipitação da Tubulação (CO-44)



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerSight)

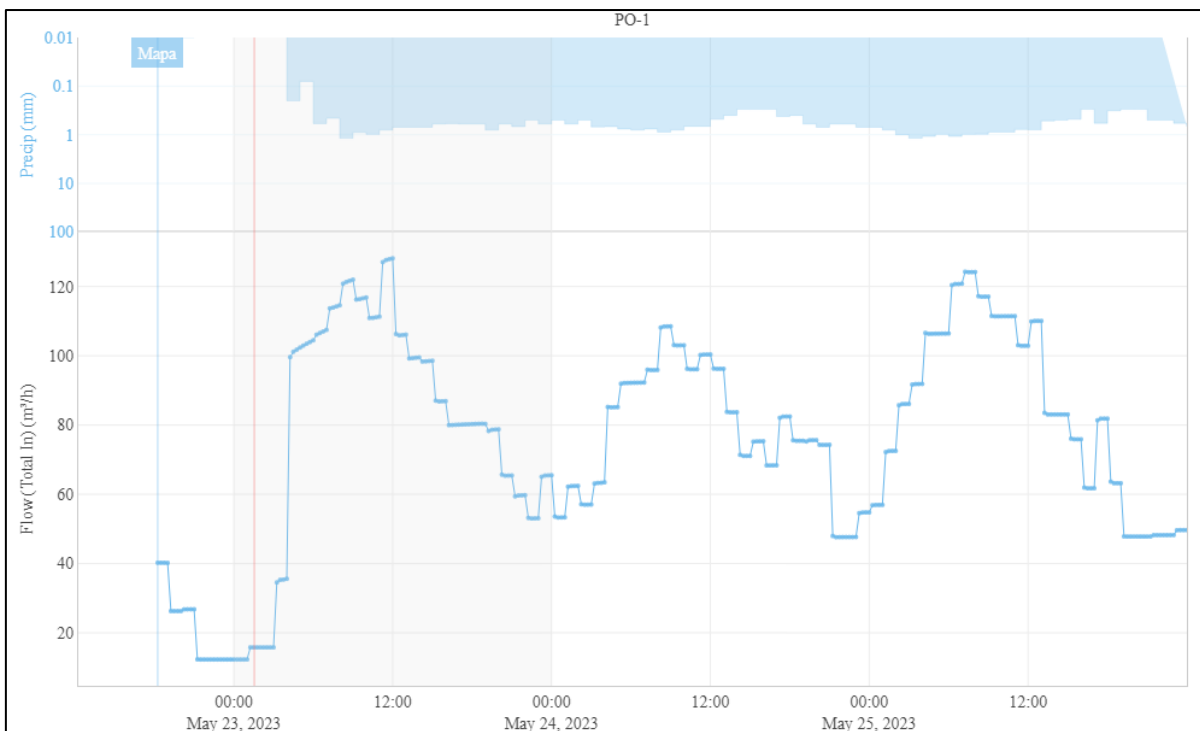
Ao se analisar a vazão da Lagoa dos Frades, se observa um padrão pois no período observado na Figura 19 abaixo, é visível o baixo volume de precipitação registrado. Porém, se comparado o mesmo período do conduto CO-44 (Simulação 22/05/2023, 18:15h), Figura 18, o comportamento da lagoa se assemelha ao do conduto, porém com vazões menores o que comprova a eficácia da lagoa de amortecimento da vazão de águas pluviais.

Figura 19. Vazão Lagoa dos Frades (PO-1)



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerSight)

Gráfico 8. Vazão da Lagoa dos Frades



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerSight)

São disponibilizados relatórios com simulações de dados a partir de datas pré-selecionadas. Na Tabela 2 abaixo, foram selecionadas diferentes simulações do mês de maio onde se observa o status da microdrenagem, ou seja, são demonstrados a caracterização do evento de precipitação com a

duração de maior volume e valor máximo em milímetros além do status dos elementos de drenagem, como poços de visita e condutos.

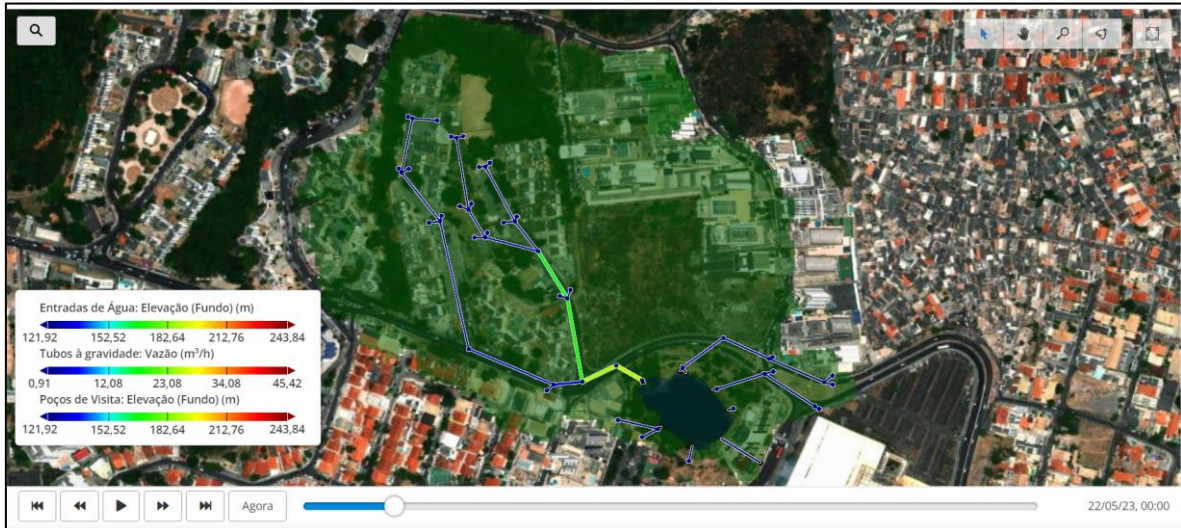
Tabela 2. Comportamento da Bacia de Detenção.

ID	Nome	Origem	Status	Data de Início	Data de Término	Duração	Valor Máx
219616	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	18/05/2023, 04:15	18/05/2023, 06:15	2.00	25
219617	Novo	Precipitação intensa	Poços extravasados	18/05/2023, 05:15	18/05/2023, 06:00	0.75	6
219132	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	13/05/2023, 06:15	13/05/2023, 07:15	1.00	28
219131	Novo	Precipitação intensa	Poços extravasados	13/05/2023, 06:30	13/05/2023, 07:00	0.50	8
218775	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	10/05/2023, 04:15	10/05/2023, 05:00	0.75	6
218443	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	07/05/2023, 04:30	07/05/2023, 08:00	3.50	28
218442	Novo	Precipitação intensa	Poços extravasados	07/05/2023, 05:15	07/05/2023, 07:00	1.75	8
217963	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	03/05/2023, 02:15	03/05/2023, 03:15	1.00	5
217927	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	03/05/2023, 01:15	03/05/2023, 02:00	0.75	7
217026	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	24/04/2023, 09:15	24/04/2023, 10:00	0.75	4
214924	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	07/04/2023, 06:15	07/04/2023, 07:00	0.75	4
214599	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	04/04/2023, 04:15	04/04/2023, 08:00	3.75	25
214602	Novo	Precipitação intensa	Poços extravasados	04/04/2023, 04:45	04/04/2023, 07:00	2.25	6
212747	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	16/03/2023, 10:15	16/03/2023, 11:00	0.75	4
212600	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	12/03/2023, 06:15	12/03/2023, 07:00	0.75	5
212405	Novo	Precipitação intensa	Condutos afogados	10/03/2023, 14:15	10/03/2023, 16:00	1.75	24
212404	Novo	Precipitação intensa	Poços extravasados	10/03/2023, 15:00	10/03/2023, 15:00	0.00	6

Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerSight)

Às 00:00 do dia 22 de maio de 2023, a rede foi registrada num comportamento considerado ideal, pois os condutos estão em estado controlado de vazão e não há situação de condutos pressurizados, ou seja, em situação de sobrecarga.

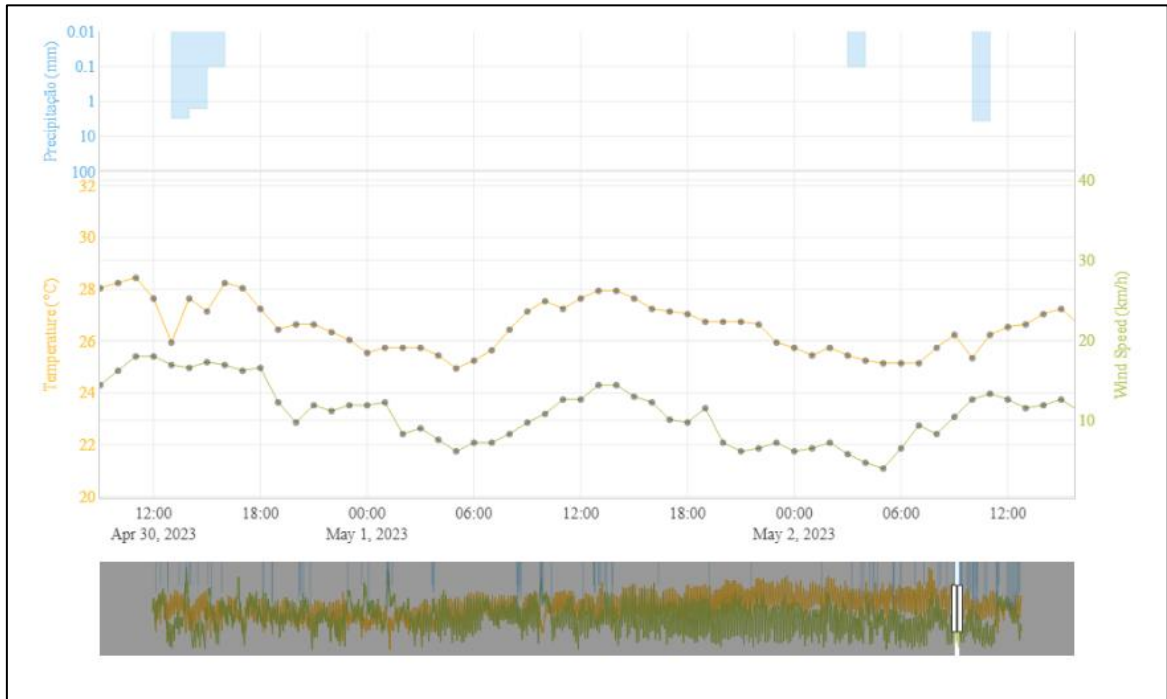
Figura X: Interface e Legendas



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerSight)

O SewerSight gera relatórios de precipitação (mm), temperatura (°C) e velocidade do vento (km/h) que podem ser mostrados com maior janela de tempo visto que foram registrados da base de dados do portal “The Wheeler Company” (Gráfico 9). Além disso, podem ser adicionados novos dados como de outros portais meteorológicos ou também sensores de monitoramento in loco, como de sensor nível d’água, turbidez e nível de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

Gráfico 9. Hidrograma



Fonte: Contexto do Autor (2023, SewerSight)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que os objetivos estabelecidos inicialmente foram alcançados, proporcionando contribuições relevantes para a área de gestão de inundações urbanas. Em função disso, modelar e simular o comportamento de uma rede de drenagem, com o uso de plataformas integradas diante de um evento crítico de chuva e a utilização de uma bacia de retenção como elemento mitigador de inundações, pode-se analisar os resultados para aplicabilidade e utilização prática para controle de enchentes na cidade de Salvador.

Ao longo deste estudo, foram investigados e analisados diversos parâmetros e aspectos relacionados aos gêmeos digitais e a Gestão de Riscos de inundações urbanas em Salvador aplicado a um estudo de caso em bacia de retenção, permitindo uma compreensão aprofundada e valiosa diante a problemática apresentada. Afinal, é importante entender que a gestão de sistemas de drenagens é alvo de negligência na concepção da formação de um espaço urbano, podendo ser atribuída a carência de visibilidade e destaque para a população. É possível considerar também que a inserção de novas tecnologias pode permitir a maior eficácia nos projetos de drenagem, mitigando assim, os desastres naturais e antrópicos da cidade.

Através da utilização dos softwares SewerGEMS e SewerSight da empresa Bentley Systems, análise hidrológica por geoprocessamento e pesquisas de campo foi possível estimar a rede de drenagem existente. Devido a falta de cadastro técnico da região, foi possível calcular o volume provável da Lagoa dos Frades e estimar a quantidade de água requerente para manter o nível d'água constante, conseqüentemente, a biodiversidade lacustre, onde foi feita a devida simulação em vista de um evento de chuva crítico registrado pela Defesa Civil de Salvador em novembro de 2019. O volume simulado foi de aproximadamente 4.000 m³, o que é relacionado também ao volume excedente do sistema, afinal, a bacia de retenção possui a função de amortecer a vazão de precipitação no evento em questão.

Por meio do software SewerSight, pode-se comprovar a importância dos gêmeos digitais quando se trata de gestão urbana. Em diferentes áreas de projetos podem ser fundamentais para a manutenção, monitoramento e

mitigação de danos. Com as análises registradas a partir do funcionamento dinâmico em tempo real do sistema, pode-se criar alarmes a partir de sensores ou até mesmo da base de dados meteorológicas.

Em pesquisas futuras, é importante destacar a possibilidade da inserção de sensores para incrementar o monitoramento em tempo real. Sendo assim, o desenvolvimento de um ou mais microdispositivos que possam ser distribuídos ao longo dos elementos dos sistemas de microdrenagem como poços de visita, condutos e galerias pluviais poderão permitir com que sejam monitorados os níveis de DBO (Demanda Química de Oxigênio), temperatura e nível da água. O mesmo também pode ser aplicado em bacias de retenção ou detenção com o objetivo de registrar eventos de cheia além de acrescentar sensores de turbidez para caracterizar a quantidade de particulados e outros dados. Assim, com esses sensores, é possibilitado a obtenção de respostas da qualidade da água em tempo real da bacia.

Com base nas análises, foi possível estabelecer conclusões substanciais a respeito do grande desafio para centros urbanos, incluindo a cidade de Salvador, na inclusão de sistemas autônomos, para monitorar e mitigar eventos de desastres naturais associados a drenagem urbana. Os estudos proporcionaram uma compreensão aprofundada a respeito dos desafios e a importância dos gêmeos digitais num país que cada vez mais vem sendo abordado o assunto de cidades inteligentes e a evolução da sociedade como um todo. Os desafios superados durante o processo de estudo, mediante ao aprendizado de um software recente e aprimorado como o SewerGEMS, em relação ao que está disponível no mercado, e sua aplicação na gestão das águas pluviais e drenagem urbana, proporcionaram crescimento intelectual e uma nova visão a respeito dos futuros passos para o desenvolvimento tecnológico.

5 REFERÊNCIAS

Annex B - Virtual Singapore and Semantic 3D Modelling. Sla.gov.sg. Disponível em: <<https://www.sla.gov.sg/articles/press-releases/2014/virtual-singapore-a-3d-city-model-platform-for-knowledge-sharing-and-community-collaboration/annex-b-virtual-singapore-and-semantic-3d-modelling>>. Acesso em: 11 maio 2023.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo. Oficina de textos, 2005.

CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CAÇULA -ILHA SOLTEIRA/SP DRAINAGE CHARACTERIZATION OF THE CÓRREGO CAÇULA RIVER BASIN -ILHA SOLTEIRA/SP. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/6/PAP017993.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2023.

DRENAGEM e MANEJO das ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS CADERNOS TEMÁTICOS SANEAMENTO BÁSICO. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Drenagem+e+Manejo+da+s+%C3%81guas+Pluviais+Urbanas.pdf/72c03623-99ee-40d8-b1e8-107c182daf8e?version=1.0>>. Acesso: 25 maio 2023.

Grievess, M., & Vickers, J. (2017). **Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems.** DTIC Document.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Inmet.gov.br. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 25 maio 2023.

LUIZ, André; BRITO, Romualdo; HARRY EDMAR SCHULZ; *et al.* **ASPECTOS NUMÉRICOS E FÍSICOS DE SOLUÇÕES DAS EQUAÇÕES DE SAINT-VENANT.** ResearchGate. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259398961_ASPECTOS_NUMERICOS_E_FISICOS_DE_SOLUCOES_DAS_EQUACOES_DE_SAIN-VENANT/link/54d579000cf246475807a651/download>. Acesso em: 15 maio 2023.

Mercado de cidades inteligentes terá um crescimento anual de 23% até 2024 - Portal Information Management. Portal Information Management. Disponível em: <<https://docmanagement.com.br/04/04/2022/54671/>>. Acesso em: 18 maio 2023.

MEDEIROS, Anderson. **Conheça Melhor o GRASS. ClickGeo: Cursos e Treinamentos em Produção de Mapas e Geoprocessamento.** Disponível em: <<https://clickgeo.com.br/conheca-melhor-o-grass/>>. Acesso em: 12 maio 2023.

MENDONÇA, Franciane; SANTOS¹, Dos; AUGUSTO DE LOLLO², José; *et al.* ROVERI, Silas; CRISTHIANE; PASSOS, Michiko; *et al.* **Análise da aplicação de LID em uma região do município de Maringá-PR Analysis of LID 's implementation in a region at Maringá-PR.** [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/6/PAP017849.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2023.

NRF Virtual Singapore. Disponível em: <<https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>>. Acesso em: 15 maio 2023.

RODRIGUES, Geól; SANTOS, Dos. **CASE HISTORIES DA INTERAÇÃO HUMANA COM A NATUREZA GEOLÓGICA NO BRASIL ESTÁDIO DO PACAEMBÚ Exemplo Virtuoso da Integração entre Arquitetura e Geologia.** [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <http://mw.eco.br/zip/emails/AMB190911_CaseHistor_04.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

The Weather Company, da IBM, continua a ser o serviço de previsão do tempo mais preciso do mundo - IBM Comunica. IBM Comunica. Disponível em: <<https://www.ibm.com/blogs/ibm-comunica/the-weather-company-tem-provedor-mais-preciso/>>. Acesso em: 20 maio 2023.

Tucci, Carlos E. M. (2001). **HIDROLOGIA: Ciência e Aplicação.** 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 938 p. v. 1

UNIDADE 1 A BACIA HIDROGRÁFICA. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf>.

Virtual Singapore - a 3D city model platform for knowledge sharing and community collaboration. Sla.gov.sg. Disponível em:

<<https://www.sla.gov.sg/articles/press-releases/2014/virtual-singapore-a-3d-city-model-platform-for-knowledge-sharing-and-community-collaboration>>.

Acesso em: 11 maio 2023.

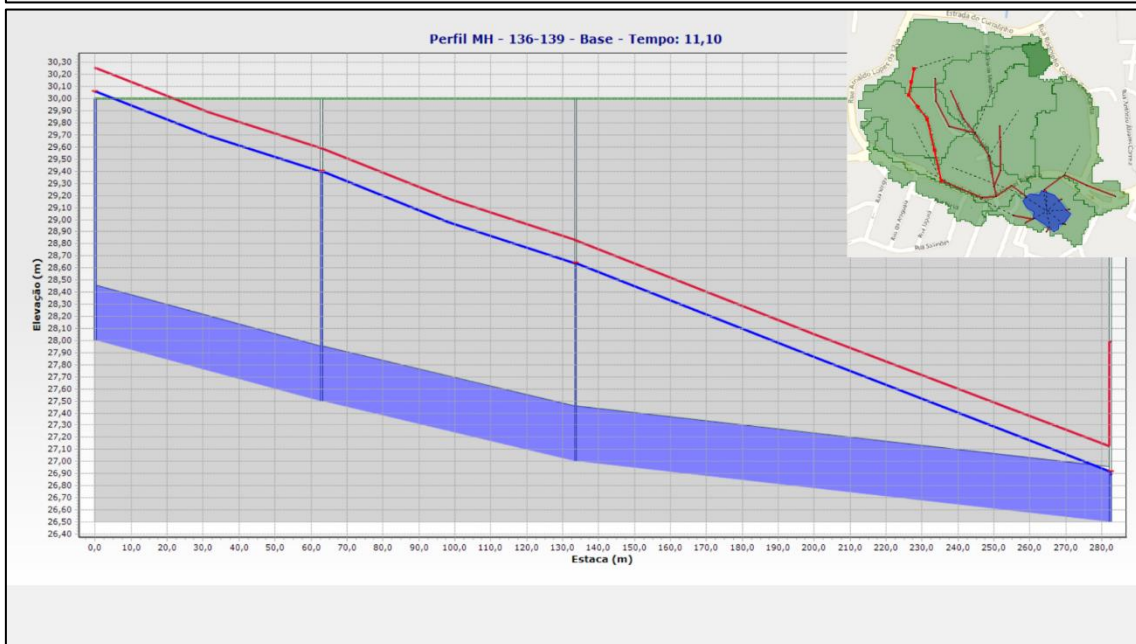
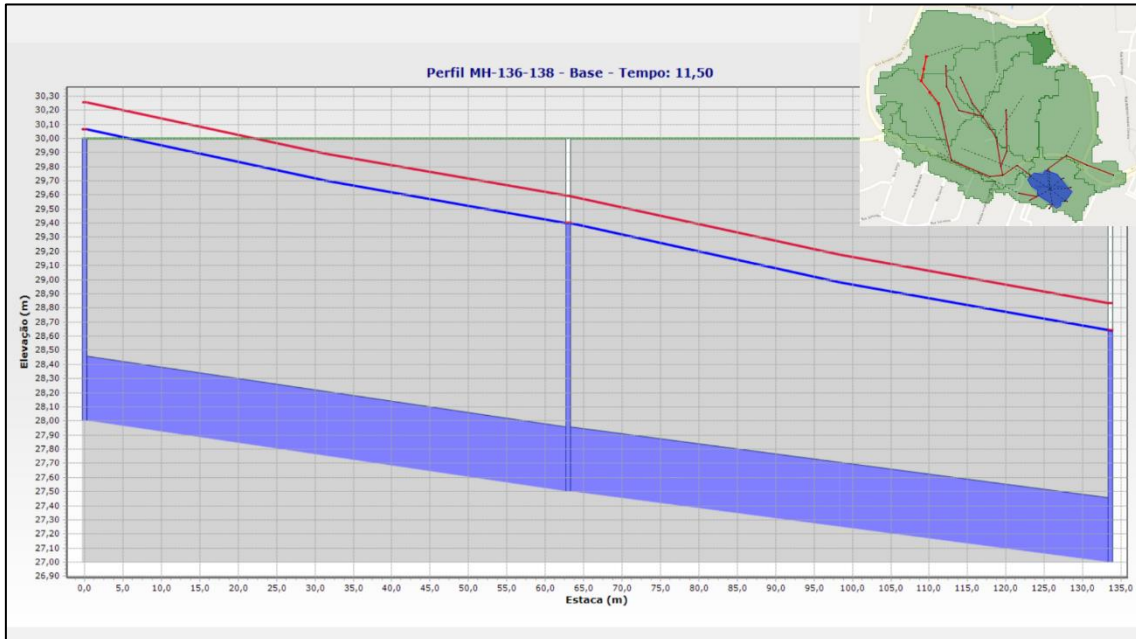
Vista das Reflexões Sobre Gêmeos Digitais (GD) No Ambiente Construído.

Revistas.ufg.br. Disponível em:

<<https://revistas.ufg.br/revjat/article/view/74705/39375>>. Acesso em: 18 maio 2023.

.

APÊNDICE A – PERFIS LONGITUDINAIS DO SISTEMA DE MICRODRENAGEM ¹



¹ Perfis retirados da simulação no SewerGems no intervalo da chuva crítica (11:50-12:00hrs)

