

## IX-1121 - MAPEAMENTO DAS ÁREAS MARGINAIS DO RIO DOS BUGRES SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS, NOS MUNICÍPIOS DE SANTOS E SÃO VICENTE (SP), E PROPOSTA DE SOLUÇÕES

### **Érica Nishihara<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário Fundação Santo André. Especialista em Gestão de Projetos pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Engenheira da Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (COBRAPE).

### **Mitsuyoshi Takiishi**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia. Engenheiro e Coordenador da COBRAPE.

### **Luis Eduardo Gregolin Grisotto**

Engenheiro Ambiental pela Universidade São Marcos e Ecólogo pela UNESP/Rio Claro. Especialização em Gestão Ambiental, Mestre em Saúde Pública e Doutor em Ciências (Área de Concentração em Saúde Ambiental) pela FSP/USP. Diretor da COBRAPE e Diretor da ABES/SP - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

### **Márcio Antônio Rodrigues de Lara**

Engenheiro Civil pela Unisantia Santos. Especialista em Engenharia dos Transportes FDTE pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Gerente do Programa Santos Novos Tempos da Prefeitura Municipal de Santos.

### **Danilo Uvara de Souza**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia e Especialista em Gestão de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas. Engenheiro da Prefeitura Municipal de Santos.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Fradique Coutinho, 212 - Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 05416-000 - Brasil - Tel: (11) 3897-8000 - e-mail: [ericanishihara@cobrape.com.br](mailto:ericanishihara@cobrape.com.br)

## **RESUMO**

O rio dos Bugres constitui-se em trecho da divisa municipal entre Santos e São Vicente, no litoral de São Paulo. A região caracteriza-se pela enorme comunidade de palafitas e saneamento precário, com setenta anos de ocupação irregular e lançamento bruto de esgoto e resíduos domésticos, que tornam a água sob classificação de contaminação por esgoto. O objetivo do presente estudo foi mapear as consequências da situação atual e propor soluções para que se melhorassem as condições de saneamento da região, mantendo-se como referência as diretrizes e princípios da lei de saneamento. O projeto proposto visa melhoria o sistema de drenagem para os bairros lindeiros de ambos os municípios, complementando a infraestrutura das obras do Plano de Saneamento e Desenvolvimento Econômico da Baixada Santista, executado pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento<sup>1</sup> minimizar o descarte irregular de resíduos, e propiciar condições iniciais básicas para futuras regularizações das redes de distribuição de água e coleta de esgoto.

**PALAVRAS-CHAVE:** saneamento; rio dos Bugres; drenagem; litoral; projeto.

## **INTRODUÇÃO**

Localizado no Complexo Estuarino de Santos e São Vicente (CESSV), litoral do Estado de São Paulo, o rio dos Bugres constitui trecho da divisa municipal entre São Vicente e a Zona Noroeste de Santos. A extensão de cerca de 2,5 km de rio abriga em torno de 20 mil moradores do Dique da Vila Gilda, a maior comunidade de palafitas da América Latina, segundo Ribas (2021). O rio drena também diversos bairros de São Vicente (vide Figura 1).

A região caracteriza-se pela precariedade dos serviços de saneamento básico, sendo visível o lançamento bruto de lixo e esgoto domésticos no corpo d'água, produzidos pela população local; conseqüentemente, os

<sup>1</sup> Lei Federal n.º 2.234, de 14 de junho de 1954

parâmetros de qualidade da água estão muito aquém do desejável. Sampaio et al (2017) basearam-se nos parâmetros estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para classificar o rio dos Bugres como contaminado por esgoto, a partir da análise de amostras coletadas no período de setembro a novembro de 2015. Sugerem também que Lixão do Sambaiatuba, área de descarte de resíduos atualmente desativada, operou por mais de 30 anos e contribuiu para o processo de degradação do rio.

Adicionalmente, Roversi et al (2016) estudaram toda a hidrodinâmica do Sistema Estuarino de Santos, onde calcularam as taxas de renovação das águas pelo efeito da maré e das vazões fluviais afluentes. Dentre os 11 subsistemas analisados, constataram que para os pontos Largo da Pompeba e Rio Casqueiro, localizados nas proximidades do rio dos Bugres, a taxa de renovação das águas após 15 dias representa em torno de 75% no inverno e 85% no verão; após 30 dias, representa valor superior a 95%.

Embora a renovação das águas seja quase total após um mês e boa parte do rio dos Bugres se beneficie desse ciclo, o índice de qualidade ainda é baixo em razão das fontes poluidoras ainda estarem ativas, ou seja, toda a descarga bruta de esgoto e resíduos lançados neste rio, braço contribuinte de ambos os subsistemas, reduzem a qualidade de suas águas.

Acrescentando o fato de a geografia do seu entorno possuir relevo majoritariamente plano, e as baixas declividades resultarem em velocidades de escoamento mais lentas das águas pluviais na rede de drenagem municipal, a complexidade sanitária dessa região enaltece a necessidade de ações direcionadas à garantia da saúde pública, de modo a minimizar ou coibir o avanço desse volume de água sobre a área urbana.

Ademais, conforme estabelece a Lei 11.445/2007, que apresenta as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, considera-se saneamento básico o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

- i. abastecimento de água potável
- ii. esgotamento sanitário
- iii. limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos
- iv. drenagem e manejo de águas pluviais urbanas

Desta forma, o presente estudo se propõe a apresentar soluções alinhadas à lei de saneamento básico, explorando o máximo de benefícios à população local. Ao longo do desenvolvimento do trabalho realizou-se um mapeamento das áreas marginais suscetíveis a alagamentos nos municípios de Santos e São Vicente, decorrentes das oscilações de níveis d'água no rio dos Bugres oriundos principalmente das elevações dos níveis de maré e ocorrência de eventos de chuva. Foram utilizados modelos de simulação hidrológica e hidráulica para estudar o comportamento do escoamento no rio em seu estado natural e em cenários de projeto e, posteriormente, foram elaboradas as propostas de soluções.

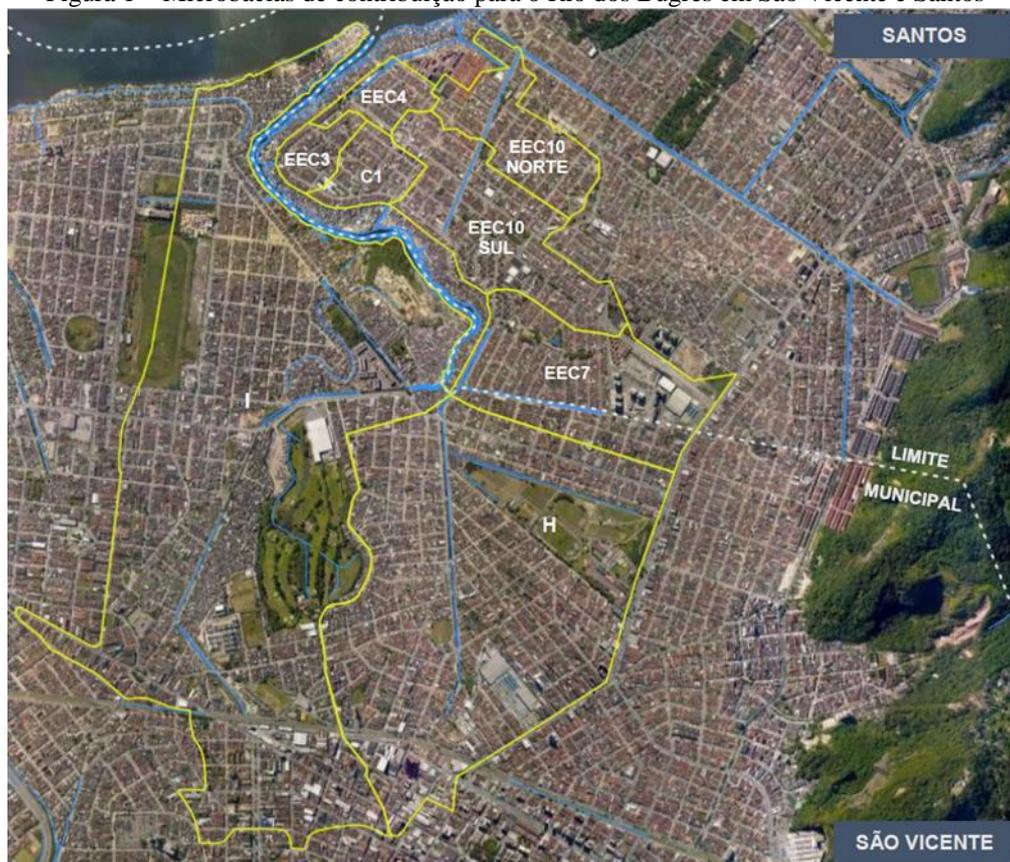
## **METODOLOGIA UTILIZADA**

Para o desenvolvimento deste trabalho foram consideradas quatro etapas principais que nortearam as atividades envolvidas, seguidas da elaboração de propostas de soluções para então traçar o projeto básico:

### **a. Levantamento de dados**

O passo inicial foi o reconhecimento da área objeto do estudo, através da coleta de dados e informações que possibilitassem a construção do ambiente a ser simulado de forma realista, para uso nas etapas sucessoras. Incluem-se nesta etapa principalmente os levantamentos realizados em 2022 e 2023 de topografia do terreno, com o cadastramento do rio dos Bugres e desemboque dos afluentes, detalhamento das margens e moradias no entorno; batimetria de toda a extensão do rio; e amostras e sondagens das margens em pontos pré-definidos ao longo do rio. As microbacias que contribuem para o Rio dos Bugres constam da Figura 1.

Figura 1 – Microbacias de contribuição para o Rio dos Bugres em São Vicente e Santos



#### **b. Modelagem hidrológica**

Esta etapa simulou o fluxo da água produzida pelas bacias afluentes ao rio dos Bugres, através da inserção dos parâmetros e características destas e tendo como principal finalidade a geração dos hidrogramas de vazão nos pontos de interesse. O volume de água produzido pelas bacias é majoritariamente proveniente de São Vicente, onde ficam as cabeceiras do rio, sendo as bacias incrementais de Santos pouco representativas em termos de volume. Para a simulação hidrológica, no modelo adotou-se o uso da equação IDF de Cubatão – Piaçaguera, disponibilizada no manual DAEE (1999) de Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo.

#### **c. Modelagem hidráulica**

Nesta terceira etapa, foi realizada a caracterização da geometria natural do rio. A simulação considerou toda a extensão do rio, desde seu início à jusante da ponte no cruzamento das av. Sambaiatuba x Penedo, em São Vicente, até a sua foz no estuário. Os hidrogramas de vazões obtidos na etapa anterior foram adotados como condição de entrada inicial, e vazões intermediárias foram inseridas como dados de contribuição lateral. Para a condição de contorno de jusante foi aplicado o nível de maré, uma vez que a declividade possui pouca representatividade neste caso.

#### **d. Mapeamento das áreas suscetíveis a alagamentos – Situação Atual**

Esta etapa consistiu basicamente em avaliar os resultados da modelagem hidráulica e projetar para as áreas marginais os níveis d'água que excedem o limite de escoamento do canal. As áreas com cotas inferiores às lâminas d'água são mapeadas e representam os perímetros suscetíveis a alagamentos, auxiliando na clareza sobre a dimensão do avanço da água sobre a área urbana. Essas áreas foram utilizadas de referência para a próxima etapa, uma vez que se deseja eliminar esses pontos de insuficiência do escoamento.

#### **e. Propostas de soluções**

A partir das avaliações anteriores, foram estudadas alternativas de solução para o cenário atual, considerando os pilares da lei de saneamento e comportamentos hidráulicos dentro dos limites de segurança adotados como

critérios, além de avaliar o melhor custo x benefício. Outro fator bastante considerado foi a questão das habitações irregulares nas margens do rio dos Bugres, tanto as palafitas quanto as alvenarias, para que houvesse o menor impacto possível quanto ao reassentamento involuntário das famílias, considerando a seleção das moradias mais vulneráveis.

#### f. Projeto básico hidráulico/geotécnico

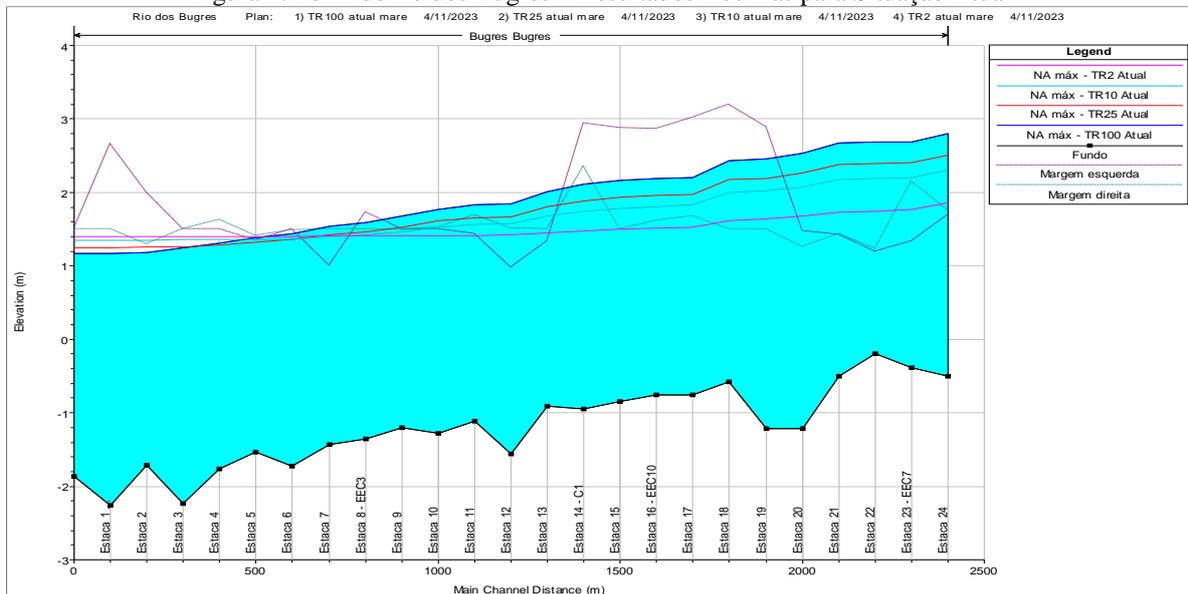
Por fim, foi desenvolvida a proposta de projeto básico para o trecho, considerando os aspectos hidráulicos e geotécnicos ali identificados. Com base nos levantamentos de campo e nos resultados das simulações hidráulicas, principalmente, os projetos foram desenvolvidos em consonância com os resultados obtidos anteriormente. Para definição dos traçados finais, foram realizados ajustes nos projetos e nas simulações hidráulicas para verificação da eficiência e viabilidade da solução proposta.

## RESULTADOS

A partir da modelagem hidráulica obteve-se condições para se avaliar o comportamento resultante do escoamento no rio dos Bugres, para diferentes cenários simulados. Em linhas gerais, o modelo permite a obtenção do perfil longitudinal do rio, com as indicações das lâminas d'água em seus níveis máximos atingidos para cada cenário, além de detalhamento em relação à velocidade de escoamento, vazões, rugosidade, entre outros.

A Figura 2 a seguir apresenta os resultados da modelagem para a Situação Atual. Este cenário representa as condições atuais do rio, em seu estado natural e sem as obras previstas pelo Programa Santos Novos Tempos (PSNT). O fundo e as margens possuem geometria bastante irregular, e à jusante os níveis representam as variações de maré associadas a cada tempo de retorno. As lâminas d'água máximas são apresentadas para os períodos de retorno de 2, 10, 25 e 100 anos.

Figura 2: Perfil do rio dos Bugres – Resultados Hec-Ras para Situação Atual



Em seguida, os resultados da modelagem permitiram o mapeamento das áreas suscetíveis a alagamentos decorrentes do extravasamento do escoamento do rio dos Bugres, em situação de chuva forte e maré alta. A área de abrangência do avanço da água foi avaliada para períodos de retorno de até 100 anos; na Figura 3 a seguir, apresenta-se a área de abrangência para o período de retorno de 10 anos para ambos os municípios.

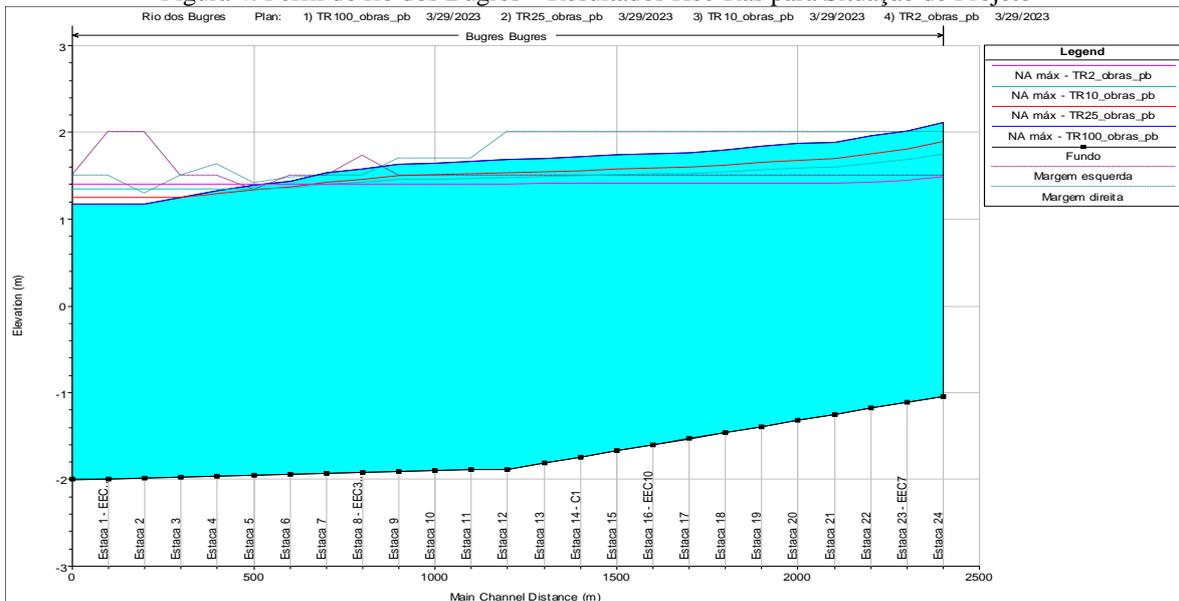
Figura 3: Áreas suscetíveis a alagamentos para Situação Atual (sem obras) - TR10 anos



A partir destes resultados, iniciaram-se os estudos para proposição de alternativas que pudessem conter esse volume de água que incide sobre a área urbana. Dentre as várias alternativas e testes realizados, o melhor custo x benefício associado a eficiência hidráulica e viabilidade geotécnica foi a implantação de um canal trapezoidal do início até a estaca 9, à montante da EEC3 – Estação Elevatória com Comporta 3, obra prevista no PSNT. A partir daí até a foz no estuário, o canal seria mantido em sua geometria natural atual, apenas com retificação de fundo para uniformizar o escoamento.

Na Figura 4 a seguir, é apresentado o resultado da simulação para o rio dos Bugres para essa configuração de proposta de projeto. Os níveis d'água máximos são apresentados para os períodos de retorno de 2, 10, 25 e 100 anos. Considerou-se o uso de um muro de contenção lateral, a fim de proporcionar uma garantia adicional quanto à contenção das cheias. Para o revestimento do canal é proposta a utilização de colchão Reno.

Figura 4: Perfil do rio dos Bugres – Resultados Hec-Ras para Situação de Projeto



A proposta para o traçado de projeto é apresentada na Figura 5 a seguir. A faixa cinza indica a área de seção trapezoidal do canal, e a faixa lateral verde indica a ciclovia proposta. Apresentam-se também os pontos de transição de geometria do canal, bem como os locais onde estão previstas as obras do PSNT.

Figura 5: Proposta de projeto para o rio dos Bugres



Os estudos geotécnicos demonstraram que é possível manter a estabilidade do canal desde que mantida a seção trapezoidal com talude de 1:5. Por meio das amostras e sondagens, verificou-se que o solo é mais instável, com a presença de mangue em algumas áreas. Desta forma, a inclinação do talude proposto obedece ao estudo de estabilidade realizado, a fim de se garantir o mínimo de alterações no aterro ao longo do tempo.

Assim, ressalta-se que o traçado proposto levou em consideração a localização do aterro do Sambaiatuba, antigo lixão em São Vicente. Em função do aterro possuir determinada elevação, a fim de se evitar qualquer risco de desmoronamento, o projeto priorizou manter a área do aterro inalterada, fazendo com que o canal mantivesse um alinhamento lateral para evitar qualquer necessidade de obra na área do aterro.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

O rio dos Bugres apresenta característica mista de identificação com um canal fluvial e de maré. Segundo Filho (1998), um canal fluvial representa o objeto da hidráulica tradicional, onde o escoamento ocorre natural e principalmente pela ação da gravidade, além de possuir um único sentido de movimento fluindo de montante para a jusante. Já o canal de maré, caracteriza-se pela dinâmica diferenciada, onde o peso da água não atua como força motriz, sendo o escoamento condicionado à existência de diferentes níveis d'água em seu interior independentemente da topografia de fundo do canal; o caráter periódico da maré faz com que o escoamento nesse tipo de canal oscile de tal forma que ocorram inversões periódicas e sistemáticas de sentido, tornando aqui os conceitos de montante e jusante irrelevantes.

Desta forma, o rio dos Bugres identifica-se como um canal fluvial em seu trecho inicial, no qual é possível presenciar o escoamento no sentido de montante para a jusante, mesmo com declividade mínima de fundo; e em seu trecho final apresenta comportamento típico de um canal de maré, onde a força da maré dita o sentido do escoamento. Os resultados da modelagem hidráulica demonstram o funcionamento desse comportamento.

Para o cenário atual, sem obras, os resultados da modelagem indicam que há pontos de extravasamento do rio, e que atingem a área urbana, a partir do período de retorno de 2 anos, demonstrando a frequência em que ocorrem transtornos e prejuízos para a população local. Ainda, o mapa de alagamentos demonstra o quanto a água avança sobre a área urbana, em ambos os municípios, considerando um tempo de retorno de 10 anos.

Para o cenário de projeto, observa-se que a geometria proposta permitiu manter um controle muito mais favorável ao escoamento, mantendo os níveis d'água dentro do limite considerado de 2 metros, onde termina a mureta de contenção de segurança. Os estudos geotécnicos auxiliaram no dimensionamento e validação da geometria, uma vez que foi necessário assegurar a estabilidade do canal para essa área onde o solo é mais instável.

O projeto proposto, conforme indicando anteriormente, priorizou o atendimento aos princípios e diretrizes da Lei 11.445/2007, referente ao saneamento básico. O projeto para o canal viabiliza a melhora da drenagem de águas pluviais (iv) para ambos os municípios, no intuito de se evitar que a água do rio avance sobre a área urbana. Desta forma é possível melhorar as condições para preservação da saúde da população local, já que esse volume de água apresenta classificação de contaminação por esgoto.

A partir do momento em que se implanta o projeto, estima-se também uma melhoria nas condições de limpeza e manejo de resíduos sólidos (iii). Além do estímulo causado na população a preservar o local através da inibição de descarte irregular de resíduos no curso d'água, os aterros realizados para estabilidade marginais permitirão a passagem de equipamentos para limpeza e manutenção, mantendo-se a higiene local em condições mais adequadas.

Por fim, a via de pedestres com ciclovia proposta ficará sobre uma faixa de aterro mais estável, onde seria possível também, futuramente, que se utilize o terreno inferior para a implantação de redes para abastecimento de água (i) ou rede coletora de esgoto (ii) para as moradias locais, em ambos os municípios.

## CONCLUSÕES

O presente estudo e projeto viabilizará a operação do sistema de macrodrenagem do Programa Santos Novos Tempos, composto por cinco conjuntos de comportas automatizadas ao final de galerias e quatro estações elevatórias com bombas a diesel, ao longo do Rio. O município está concluindo a construção da primeira estação elevatória com comportas (EEC7 Engenheiro Marcos Diniz), combinará dois contratos de empréstimo e três de repasse para desassorear e canalizar o Rio dos Bugres e construir a segunda estação elevatória com comportas (EEC4 Rádio Clube). O processo de elaboração envolveu a discussão com a equipe técnica de engenharia da Prefeitura, quanto à metodologia construtiva. Assim sendo, o estudo e projeto contribuirão para auxiliar a gestão municipal na minimização dos impactos decorrentes das insuficiências na rede de drenagem urbana dos municípios de Santos e São Vicente, bem como servir de modelo para as demais partes interessadas. As ferramentas visuais facilitam a compreensão e agilizam a transmissão de informações, sendo essa a intenção da proposição de um mapeamento das áreas suscetíveis a alagamentos das áreas marginais do rio dos Bugres, principalmente pela complexidade do conjunto sanitário em que se encontra. O projeto proposto para o rio dos Bugres buscou englobar os quatro pilares da lei de saneamento, no intuito de se maximizar os benefícios para a população, através da melhoria no sistema de drenagem, minimização de descarte irregular de resíduos, e condições iniciais básicas para futuras implantações de redes de distribuição de água e coleta de esgoto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei n.º 2.234, de 14 de junho de 1954. Estabelece um plano de saneamento e aproveitamento econômico na Baixada Santista, Estado de São Paulo
2. BRASIL. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei n.º 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2007.
3. DAEE. Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo. Convênio Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), ed. Revisada, 1999.
4. FILHO, E. M. Considerações sobre a hidráulica de canais fluviais e de canais de maré. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 3, n.2, Abr/Jun 1998, p. 95-107.
5. RIBAS, M. B. O Imaginário coletivo sob as palafitas do dique da Vila Gilda. Nhengatu, ISSN: 2318-5023, São Paulo-SP, vol. 1, n.º.5, set/dez 2021, p.1-33. Disponível em: <https://doi.org/10.23925/2318-5023.2021.n5.e55540>.
6. ROVERSI, F.; ROSMAN, P. C. C.; HARARI, J. Análise da renovação das águas do Sistema Estuarino de Santos usando modelagem computacional. Ambiente & Água, vol. 11, n.3, Taubaté, Jul/Set 2016, p.566-585.
7. SAMPAIO, C. R. et. al. Avaliação da qualidade ambiental do Rio dos Bugres, complexo estuarino de Santos e São Vicente (São Paulo, Brasil). UNISANTA Bioscience, vol. 6, n.º 4, 2017, p. 248-257.