

IV-638 - NOVAS MODELAGENS MATEMÁTICAS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS NO PÓS-OBRA DE SANEAMENTO DA BACIA DO RIO PINHEIROS.

Silene Cristina Baptistelli⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado – FAAP. Mestre e Doutora em Engenharia Hidráulica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - POLI/USP. MBA em Saneamento Ambiental pela Fundação Escola de Sociologia e Política de SP – FEFESP. Engenheira na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP. Docente da pós-graduação da Universidade Mackenzie.

José Rodolfo Scarati Martins

Engenheiro Civil, Mestre, Doutor e Livre-Docente em Engenharia pela Universidade de São Paulo, atualmente é professor associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP, atuando nos cursos de graduação e pós-graduação em engenharia civil, engenharia ambiental e arquitetura.

Lais Ferrer Amorim de Oliveira

Engenheira Ambiental e Sanitária pela Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI (2013), Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá - UEM (2015) e Doutora em Engenharia Hidráulica pela Universidade de São Paulo - USP (2020). Atualmente cursa o Pós-Doutorado na Universidade de São Paulo - USP e atua como pesquisadora da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica desde 2015.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300 – Pinheiros – São Paulo – SP – CEP: 05429-900 – Brasil – Tel: (11) 99177-0217 - e-mail: sbaptistelli@sabesp.com.br.

RESUMO

O rio Pinheiros é um corpo hídrico inserido na bacia hidrográfica do Alto Tietê, localizado na cidade de São Paulo, altamente urbanizada, que historicamente foi afetado pelos despejos de esgotos domésticos e industriais, resíduos sólidos e pela poluição difusa. Em, 2019, por meio da Resolução da Secretaria de Estado de Infraestrutura e Meio Ambiente (antiga SEMA e atual SEMIL), o Governo do Estado de São Paulo tomou por decisão promover a melhoria da qualidade das águas do rio Pinheiros até o final de 2022. A SABESP, que integra a Comissão Multidisciplinar de Estudos para a Despoluição do Rio Pinheiros, e é a responsável pelo abastecimento de água e esgotamento sanitário desta bacia programou obras estruturantes (obras convencionais de esgotamento sanitário) e ações operacionais para a diminuição da carga de esgoto sanitário dos afluentes do rio Pinheiros. Além disso, projetou e implantou soluções não convencionais, as URs (Unidades Recuperadoras da Qualidade das Águas), estruturas projetadas para tratar as vazões fluviais que contêm cargas remanescentes de esgoto não tratado proveniente de áreas de ocupação irregular, as áreas informais. Em consonância com os objetivos do Programa, a SABESP solicitou à Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH o desenvolvimento do “Estudo de Modelagem da Qualidade do Rio Pinheiros” fundamentado em modelagem matemática visando compreender e interpretar os potenciais impactos das ações de melhoria que vem sendo introduzidas. Este estudo visou avaliar o comportamento do Rio Pinheiros considerando cenário de diagnóstico (2019) e cenários prognósticos (2022) de diferentes aportes cargas orgânicas que acompanhavam a evolução do andamento das obras. Atualmente, em 2023, as obras estão finalizadas e este trabalho apresenta os novos resultados da modelagem hidrodinâmica e de qualidade das águas, realizada por meio de simulações elaboradas após a execução de 100% das obras estruturantes, construídas e implantadas entre 2020 e 2022. O principal objetivo deste trabalho foi o de ajustar as ferramentas de modelagem matemática desenvolvidas durante o Estudo de Modelagem da Qualidade do Rio Pinheiros às condições atuais do ambiente de estudo, considerando que o avanço das obras do Projeto Novo Pinheiros.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade das águas; Monitoramento Ambiental; Novo Rio Pinheiros; Esgotamento Sanitário; Saneamento Básico.

INTRODUÇÃO

Localizado na cidade de São Paulo, o rio Pinheiros é um corpo hídrico inserido na bacia hidrográfica do Alto Tietê, altamente urbanizada, que historicamente foi afetado pelos despejos de esgotos domésticos e industriais, resíduos sólidos e pela poluição difusa. Em decorrência dessa poluição, o rio Pinheiros, em determinadas épocas do ano, particularmente na estiagem, vinha apresentando condições anaeróbias em suas águas, gerando odores desagradáveis.

As condições hidráulicas deste canal também são particulares, uma vez que, o Canal Pinheiros teve origem na retificação do rio Pinheiros, iniciada no final da década de 30 e concluída em 1957. A antiga Usina Elevatória de Traição, atualmente Usina São Paulo, divide esse canal em dois: o Canal Pinheiros Inferior, com 10.083 m de extensão, trecho compreendido entre a confluência com o Rio Tietê ("Cebolão") e a Usina Elevatória de Traição, e o Canal Pinheiros Superior, com 15.461 m, trecho compreendido entre as usinas elevatórias de Traição e Pedreira (EMAE, 2020).

A área de estudo, o rio Pinheiros, inserido na bacia do rio é apresentada na Figura 1. Cabe notar que o rio Pinheiros flui desde o Reservatório Billings até o rio Tietê, mas em período de grandes chuvas, para o controle de inundação e cheias, as suas águas são bombeadas no sentido contrário, ou seja, do Tietê para a Billings.

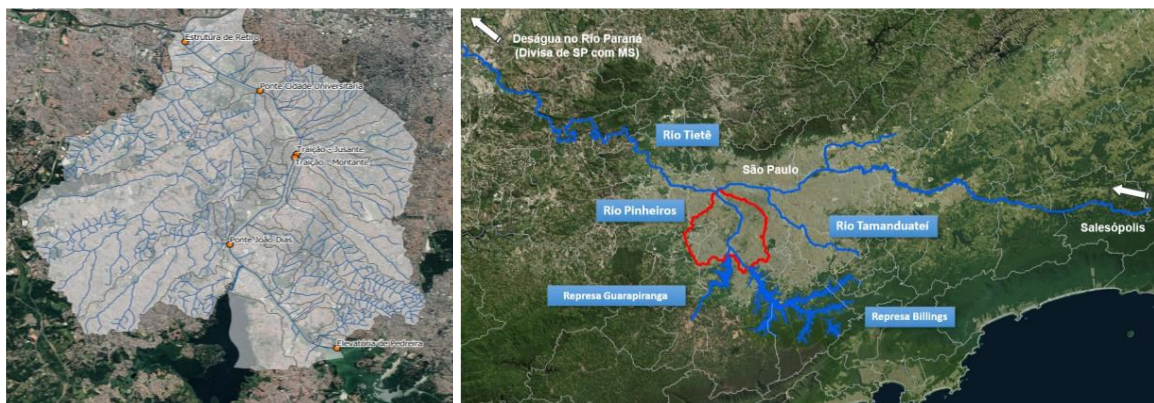


Figura 1. Rio e Bacia do rio Pinheiros em planta e sua localização na bacia do rio Tietê

Em, 2019, com a decisão tomada pelo Governo do Estado de São Paulo, por meio da Resolução SIMA 14/2019 (São Paulo, 2019), de promover a melhoria da qualidade das águas do rio Pinheiros e seus afluentes até dezembro de 2022, a SABESP, responsável pelo abastecimento de água e esgotamento sanitário desta bacia hidrográfica, programou e está executando obras estruturantes (obras convencionais de esgotamento sanitário), ações operacionais e soluções não convencionais, as URs (Unidades Recuperadoras da Qualidade das Águas) para a diminuição da carga de esgoto sanitário dos afluentes do rio Pinheiros. Estudos de modelagem matemática hidrológica, de cargas, hidrodinâmica e de qualidade da água foram realizados para avaliar se as ações propostas atingiriam as metas do projeto. Tais estudos representaram a dinâmica das contribuições advindas da bacia hidrográfica e os processos ocorridos dentro do canal, caracterizando a geração de cargas de período seco e úmido na bacia, os processos hidráulicos e as condições de qualidade da água do canal durante um ano modal.

A SABESP, que integra a Comissão Multidisciplinar de Estudos para a Despoluição do Rio Pinheiros, solicitou à Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH o desenvolvimento de estudos fundamentados em modelagem matemática visando compreender e interpretar os potenciais impactos das ações de melhoria que vem sendo introduzidas. Estes estudos tiveram por objetivo avaliar o comportamento do Rio Pinheiros considerando diferentes cenários de aporte cargas de constituintes que resultam no consumo e redução das concentrações de oxigênio dissolvido. Para tal abordagem foi empregada a modelagem matemática hidrodinâmica e de qualidade fundamentada em dados de monitoramento e comportamento dos constituintes na água. Este estudo de modelagem utilizado como ferramenta de planejamento e gesto, foi desenvolvido durante o período de planejamento e execução das obras e tem seus resultados apresentados em Baptistelli e Veras, 2021; Sabesp, 2021; Baptistelli et al, 2022a; Baptistelli et al, 2022b; e Baptistelli, 2022.

O presente trabalho visa apresentar novos resultados da hidrodinâmica e de qualidade das águas, realizada no software HEC-RAS, por meio de simulações elaboradas após a execução de 100% das obras estruturantes, construídas e implantadas entre 2020 e 2022.

Para esta etapa de simulações foram consideradas as novas condições do corpo receptor, o rio Pinheiros, em relação e sua atual capacidade de autodepuração. São previstas avaliações com objetivos específicos como:

- Avaliação dos coeficientes de reaeração e desoxigenação (k_1 e k_2) mais representativos para às novas condições das águas do Canal do Pinheiros.
- Avaliação do comportamento da URs e sua influência sobre as concentrações de parâmetros de qualidade, separadamente, no período seco e no período úmido.

Neste sentido, o principal objetivo deste trabalho é ajustar as ferramentas de modelagem matemática desenvolvidas durante o Estudo de Modelagem da Qualidade do Rio Pinheiros (Sabesp, 2021) às condições atuais do ambiente de estudo, considerando que o avanço das obras do Projeto Novo Pinheiros realizou a remoção das vazões de esgoto lançadas nos córregos e no rio principal da bacia do rio Pinheiros, impactando sua hidrologia, hidráulica e a qualidade da água.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para estas novas simulações foram utilizados os seguintes modelos: Modelo Hidrológico + Geração de Carga (CABC+SMAP), Modelo Hidrodinâmico (HEC-RAS) e Modelo de Qualidade da Água (HEC-RAS) descritos na sequência.

O CABC (Software para Simulação Hidrológica de Bacias Complexas), desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH, é um sistema destinado à simulação hidrológica de bacias hidrográficas pelo método do Soil Conservation Service e engloba em suas rotinas todas as tarefas pertinentes a este tipo de cálculo (FCTH, 2002).

O HEC-RAS desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica – HEC do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos – USACE é internacionalmente utilizado e reconhecido por sua boa representação dos escoamentos e de suas características principais. O software possui quatro componentes de análise de escoamentos unidimensionais, sendo possível realizar o mapeamento de parâmetros hidráulicos para as diferentes seções transversais da geometria definida, além dos parâmetros de qualidade, sendo a modelagem de qualidade da água um módulo de análise acoplado ao de modelagem hidráulica.

As atividades envolvidas para a recalibração do modelo hidrológico e hidráulico são:

- Levantamento das informações pluviométricas e fluviométricas dos anos de 2020 a 2022;
- Verificação e ajustes do modelo hidrológico e simulações hidrológicas;
- Inserções das informações hidrológicas, verificação e ajustes do modelo hidráulico;
- Simulações hidráulicas dos anos de 2020 a 2022.

Para a recalibração do modelo de geração de cargas e de qualidade da água, as atividades envolvidas são:

- Tratamento e organização dos dados do monitoramento dos córregos afluentes ao Pinheiros e do próprio rio Pinheiros;
- Verificação e ajustes do modelo de geração de cargas;
- Simulações de geração de carga dos anos de 2020 a 2022;
- Investigações de campo para estimar previamente a influência das algas nas concentrações de OD e caracterizar previamente a matéria orgânica residual no rio;
- Consideração da injeção de OD nas simulações, conforme informações fornecidas;
- Verificação e ajustes do modelo de qualidade da água;
- Simulações de qualidade da água dos anos de 2020 a 2022.

Após vencidas estas atividades de recalibração dos modelos, foram simulados cenários a partir da hidrologia do ano modal (ano base), onde é simulada a condição atual (junho 2022) do rio sem e com a presença das UR e avaliação em separado da sua influência sobre as concentrações do período seco e do período úmido.

RESULTADOS

Para este estudo é considerado o avanço das obras do Projeto Novo Pinheiros até junho 2022, com a conclusão de 97.6 km de coletores executados, 179 km de rede de esgoto assentados, somando um total de 277 km de obras lineares de saneamento, além do avanço de 621.957 economias levadas a tratamento.

As séries temporais de vazão importada foram construídas levando em consideração as informações da SABESP em relação ao avanço temporal, de 2019 a 2022 e espacial, por cada bacia de esgotamento, de economias conectadas ao tratamento. Destaca-se que foi executado maior percentual de instalação de rede e ligações de economias levadas para tratamento, estimada inicialmente em 532.619 economias e que em junho de 2022 chegaram em 621.957 e em setembro de 2022 chegaram a 649 mil economias.

Tais obras alteram as condições iniciais dos modelos matemáticos de simulação hidrológica e hidrodinâmica, uma vez que as vazões importadas (vazão de esgoto lançadas nos córregos) diminuíram com a implantação das redes, encaminhando esse efluente para tratamento em outra bacia hidrográfica. Sendo assim atualizações foram necessárias para que estas ferramentas seguissem apresentando uma acurada representação do ambiente de estudo, a bacia hidrográfica do rio Pinheiros.

Os modelos construídos neste projeto se interrelacionam de maneira que o modelo hidrológico fornece condições de contorno para o modelo hidráulico e de geração de cargas, e esses para o modelo de qualidade da água. Desta forma se fez necessário atualizar os dados de entrada e condições de contorno dos modelos, viabilizando a representação das novas condições sanitárias da bacia hidrográfica.

Durante os últimos anos houve um crescimento contínuo no número população atendida pelo sistema de esgotamento sanitário, caracterizando condições de contorno transitórias para os modelos, condição que aumenta a complexidade da atualização destas ferramentas.

Tendo em vista que o objetivo dessa atualização é ajustar as ferramentas de maneira que elas representem a situação do final de plano do Projeto Novo Pinheiros para a bacia hidrográfica, a verificação e escolha do melhor ajuste durante essa atualização baseou-se nos dados de campo mais recentes. Cabe lembrar que os dados disponíveis para a elaboração deste trabalho foram de junho/2022, quando já se havia ultrapassado a marca dos 100% de realização de obras previstas. O período de fevereiro de 2021 a março de 2022 foi escolhido para realização das simulações e representar o ano hidrológico completo mais atualizado com dados disponíveis.

Os resultados serão apresentados em três etapas: (a) atualização do modelo hidrológico da bacia hidrográfica e do modelo hidrodinâmico do rio Pinheiros; (b) atualização do modelo de geração de carga e do modelo de qualidade da água do rio Pinheiros visando a situação atual da bacia hidrográfica; (c) simulação de geração de cargas e de qualidade da água para o cenário de operação total das URs considerando as atualizações feitas nos modelos.

• Modelo hidrológico da bacia hidrográfica e modelo hidrodinâmico do rio Pinheiros

A verificação da acurácia do modelo hidrológico foi realizada a partir do cálculo de índices de desempenho visando as informações de volume anual e diário e da vazão média escoada em cada sub-bacia hidrográfica de calibração e de análises gráficas da comparação do comportamento das vazões frente aos dados medidos de vazão e precipitação nas cinco bacias de calibração e do ponto de foz da bacia do rio Pinheiros. A Figura 2 mostra os gráficos de comparação para o córrego Pirajuçara e para a foz do rio Pinheiros.

As análises gráficas confirmam os baixos índices de incerteza e demonstram resultados de geração de vazão coerentes com os dados de precipitação, e que acompanham as tendências das medições de campo. Na maioria dos casos as maiores diferenças ocorrem em alguns picos de precipitação, no entanto, ao longo do ano e dentro do dia estas diferenças não comprometem o volume de escoamento gerado na bacia.

Os resultados das simulações demonstram que mesmo com o desafio de integrar uma condição de contorno transitória, as séries de vazão de esgoto estimadas e os parâmetros adotados garantiram a manutenção do ajuste do balanço hídrico modelado.

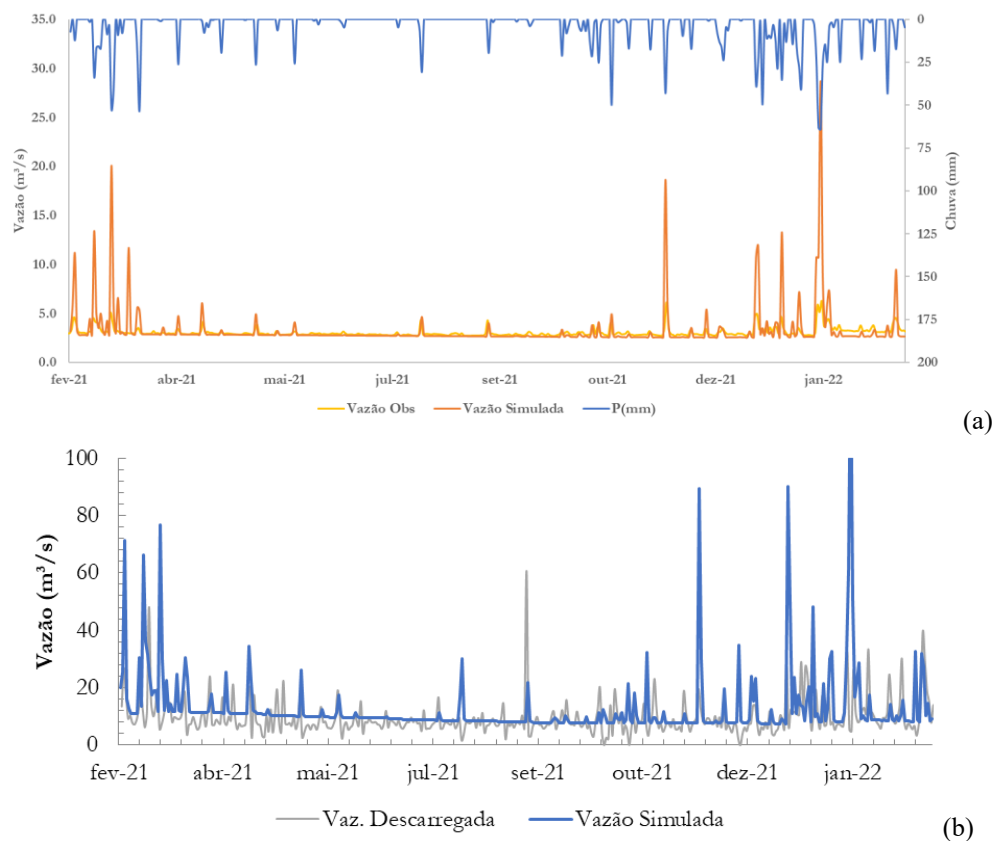


Figura 2 – Resultados da simulação hidrológica para a sub-bacia do Córrego Pirajuçara (a) e Ponto no rio Pinheiros na foz da bacia, comparando com os valores descarregados na estrutura de Retiro (b).

• Modelo de geração de carga e do modelo de qualidade da água do rio Pinheiros

No período de 2020 a 2022 a SABESP monitorou um total de 35 pontos nos córregos afluentes e 09 pontos no rio Pinheiros (Usina de Pedreira, Pte. Nova Morumbi, Pte. Laguna, Pte. Jurubatuba, Pte. João Dias, Pte. Eusébio Matoso, Pte. do Jaguaré, Pte. Cid Universitária e Pte. Cebolão). Para o rio Pinheiros, a evolução da qualidade da água por meio dos parâmetros DBO, OD e N, nos pontos monitorados de 2020 a 2022, é apresentada na Figura 3.

No rio Pinheiros, mesmo com a diferença entre o número de amostragens entre um ano e outro, fica nítido a mudança de patamar dos parâmetros de DBO e OD com o passar do tempo (Figura 3). Inicialmente em 2020 as concentrações médias de OD a partir da Ponte Jurubatuba ficavam em torno de 1.5 mg/L, já em 2021 as médias passam para o patamar de 2.5 mg/L e em 2022 para 3.5 mg/L. Comportamento decorrente do decréscimo progressivo da DBO que passa de patamares de médias de 50 mg/L em 2020 para médias de 13.5 mg/L em 2022. Para os nutrientes, observa-se que o Nitrogênio segue a mesma tendência da DBO, reduzindo suas concentrações de 2020 a 2022. Este comportamento é esperado uma vez que o Nitrogênio Total e suas parcelas na maior parte do tempo é inserido no ecossistema aquática adsorvido na matéria orgânica.

O modelo de geração de carga foi atualizado em função das novas condições hidrológicas e do aumento do número de economias conectadas ao tratamento, o qual alterou as condições de contorno em termos de vazão de esgoto lançada no rio. Calculando-se os totais de carga afluentes atualmente ao rio Pinheiros, nota-se que a carga de DBO segue sendo a maior parcela da carga aportante na bacia, representando 59% da carga total, o NT corresponde a 38% e o PT a 3%. No entanto, foi também a carga de DBO foi a que sofreu maior redução em relação ao contabilizado no diagnóstico, de ~ 28000 ton/ano para aproximadamente 12500 ton/ano.

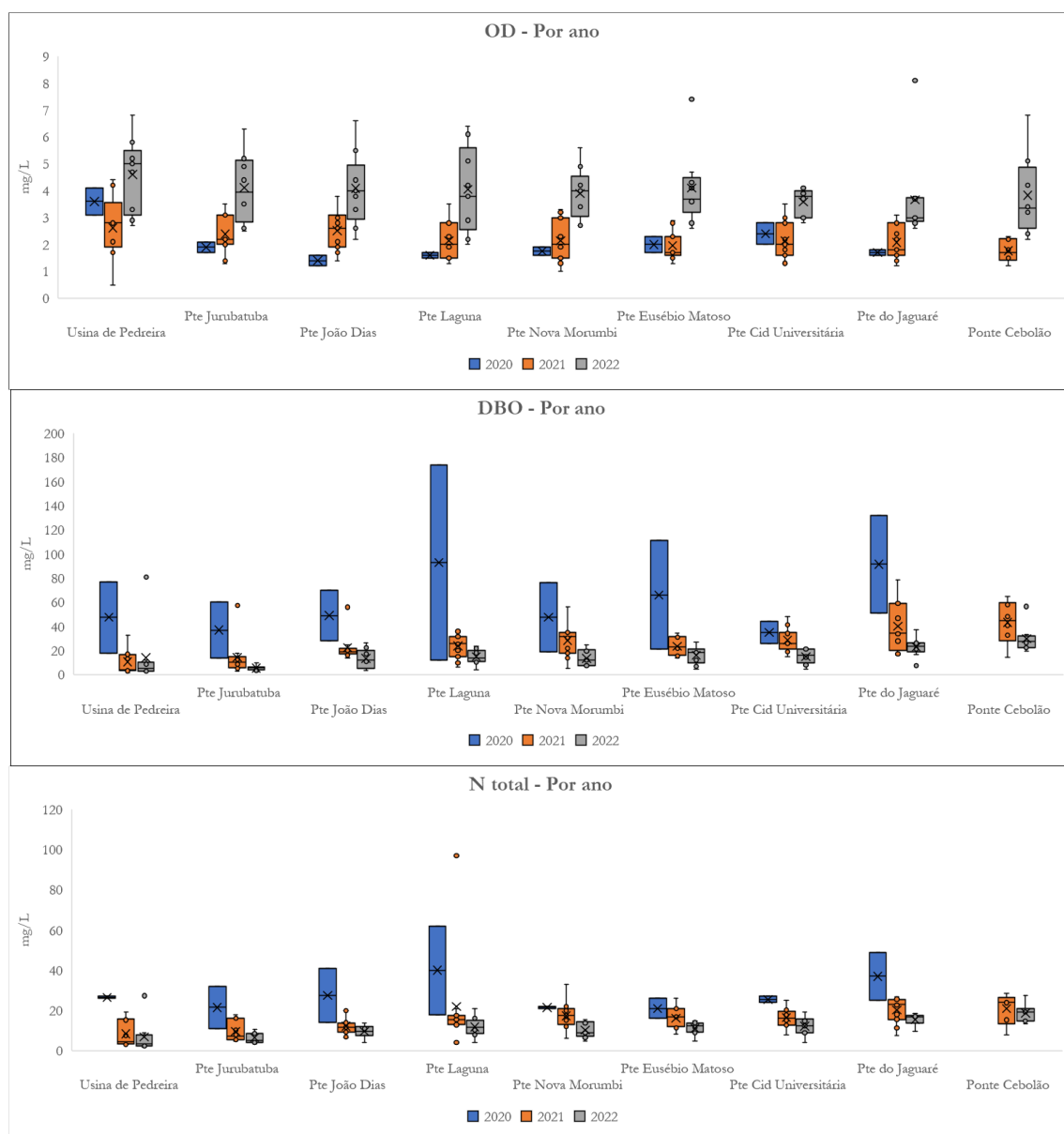


Figura 3 – Evolução da concentração de DBO, OD e N_{total} para diversos pontos da bacia do Pinheiros para os anos de 2020, 2021 e 2022

A Figura 4 demonstra a redução de carga de DBO estimada para cada sub-bacia em relação à 2018. Vale ressaltar a melhora do córrego Ponte Baixa, que no diagnóstico aprecia como uma relevante entrada de carga, sendo o quinto maior contribuidor e que na situação atual já não ocupa mais essa posição, mantendo-se numa faixa de 130 ton/ano de DBO, valor próximo aos das bacias do córrego Zavuvus e Olarias.

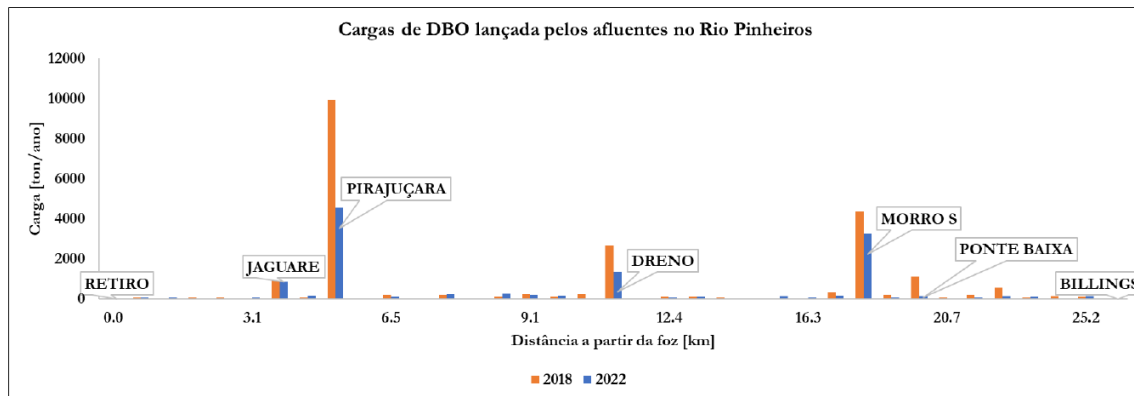


Figura 4 – Principais entradas de carga na bacia hidrográfica do rio Pinheiros

A atualização do modelo de qualidade da água contou com os novos dados de entrada gerados pelo modelo de geração de carga e as condições de contorno do modelo hidráulico. Além das atualizações dos dados de entrada, os dos coeficientes de desoxigenação (k_1) e de reaeração (k_2) foram reavaliados. Esta baseou-se no conceito de que com a implantação das obras a característica da matéria orgânica pode ter sido alterada e pelo aumento de informações disponibilizadas pela nova configuração do monitoramento realizado no período de 2020 a 2022.

A Figura 5 apresenta a influência das alterações dos coeficientes nas concentrações de OD e a Figura 6 nas concentrações de DBO, nota-se que o aumento do k_2 promove o aumento do OD sem interferir nas concentrações médias de DBO. Por sua vez, o aumento do k_1 intensifica a degradação da DBO, gerando queda nas concentrações de DBO e de OD, enquanto a redução do k_1 tem um impacto contrário aumentando ambas as concentrações.

Os resultados demonstraram que o modelo apresenta melhor ajuste em relação aos dados monitorados com um valor do k_1 de $0,1 \text{ d}^{-1}$ e com um valor de k_2 de $0,5 \text{ d}^{-1}$. Sendo assim, em relação à calibração do diagnóstico o valor de k_1 passou de $0,14 \text{ d}^{-1}$ para $0,10 \text{ d}^{-1}$, apesar da mudança ser pequena, a redução do k_1 pode indicar que a matéria orgânica que alcança o rio Pinheiros está mais lábil.

O valor de k_2 recalibrado apresentou maior diferença em relação ao utilizado no diagnóstico ($0,27 \text{ d}^{-1}$), demonstrando melhora na capacidade de reaeração do rio. Considerando que não houve alteração nas condições hidráulicas operativas do canal, essa melhora pode ser atribuída a diminuição de camada de óleos e graxas na superfície da água que prejudica a troca de gases com a atmosfera.

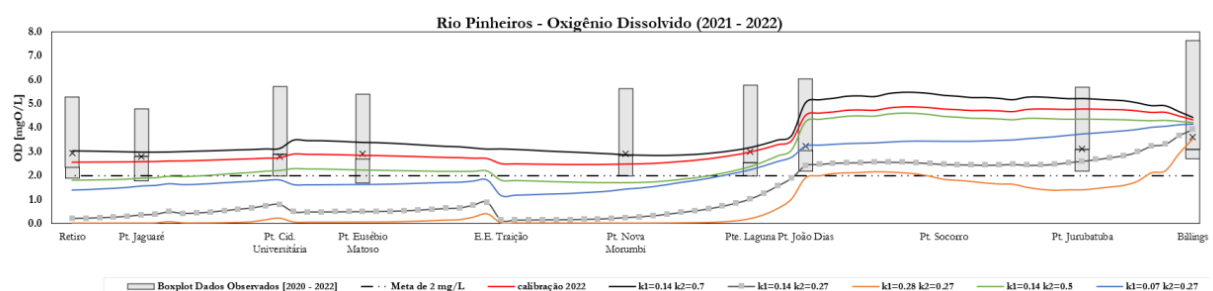


Figura 5 – Resultado da simulação de qualidade da água do rio Pinheiros para o período de 2021-2022 para o OD, comparando diferentes valores de k_1 e k_2

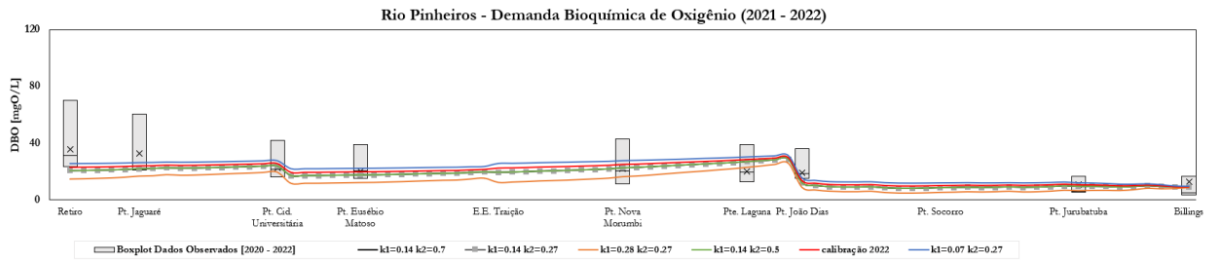


Figura 6 – Resultado da simulação de qualidade da água do rio Pinheiros para o período de 2021-2022 para a DBO, comparando diferentes valores de k_1

As simulações de qualidade da água para a situação atual (2022) consideraram as novas condições de contorno e dados de entrada dos modelos hidrológico e de geração de carga, além de dos dados de monitoramento do período e representaram as concentrações médias anuais de OD, DBO, NT e PT. Na Figura 7 são apresentados os resultados para OD, a Figura 8 os resultados de DBO e na Figura 9 para Nitrogênio Total.

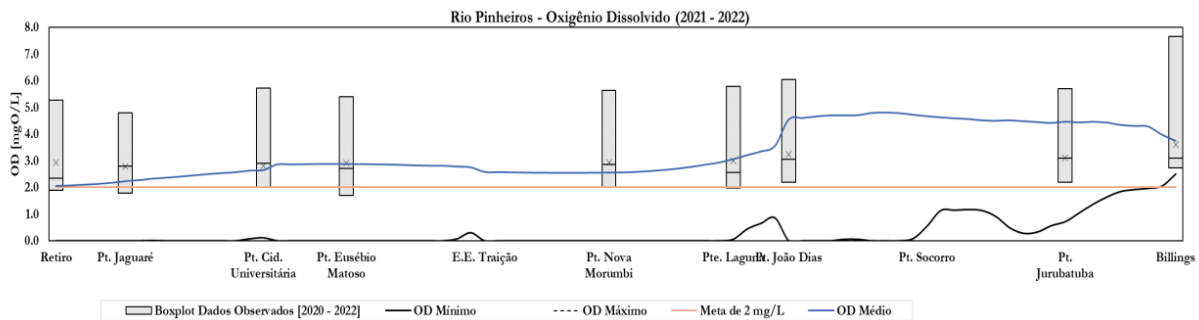


Figura 7 – Resultado da simulação de qualidade da água do rio Pinheiros para o período de 2021-2022 para o OD

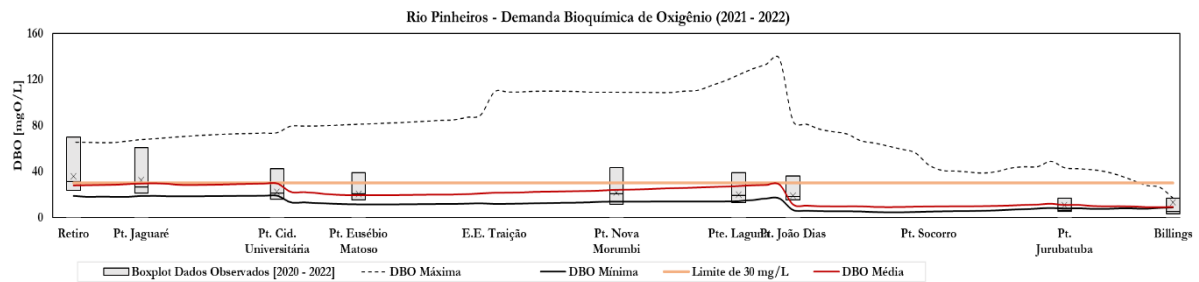


Figura 8 – Resultado da simulação de qualidade da água do rio Pinheiros para o período de 2021-2022 para a DBO

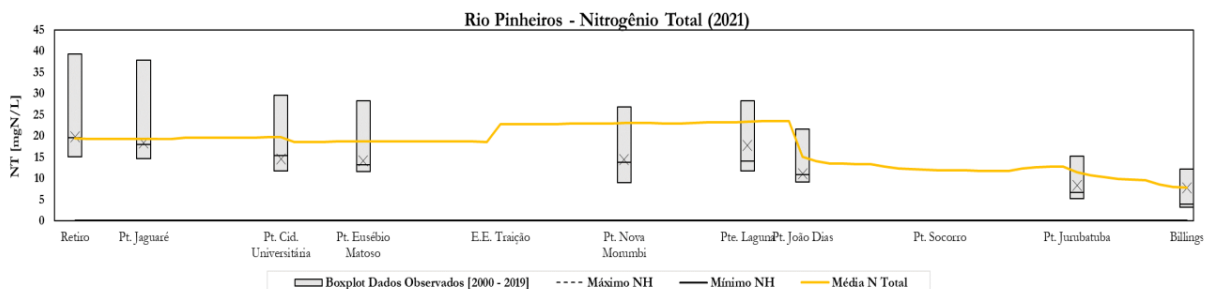


Figura 9 – Resultado da simulação de qualidade da água do rio Pinheiros para o período de 2021-2022 para o NT

Os resultados mostram que as médias anuais de OD (Figura 7) apresentaram melhora expressiva em relação à condição do diagnóstico, especialmente no trecho inferior do canal, onde eram encontradas, em 2019, quase em sua totalidade, médias próximas à 0 mg/L.

Atualmente as concentrações médias anuais ficam próximas à 4,8 mg/L até a Ponte João Dias, onde sofre uma queda após a entrada do córrego Morro do S, passando para a faixa de 2,5 mg/L até a Ponte Cidade Universitária, com uma elevação no ponto da EE Traição. No trecho final, entre a Ponte Cidade Universitária e a estrutura de Retiro as concentrações médias anuais de OD reduzem para próximo de 2 mg/L.

Para a matéria orgânica (indicador DBO) também se nota a melhora em relação às concentrações resultantes do diagnóstico (Figura 8). Com um comportamento análogo ao do OD, as melhores condições (~11 mg/L de DBO) são encontradas entre a montante e a Ponte João Dias. As concentrações sofrem maiores alterações nos pontos da Ponte João Dias (28,7 mg/L), Cidade Universitária (23,8 mg/L) e Jaguaré (29,3 mg/L), locais que coincidem com maiores entradas de carga e vazão.

O Nitrogênio Total também apresenta menores concentrações no trecho de montante da bacia (~15 mg/L), tendo o trecho entre a Ponte João Dias e a EE Traição com as maiores concentrações (~25 mg/L), com queda para 20 mg/L no canal inferior (Figura 9). Segundo os dados de campo, o componente com maiores concentrações é o Nitrogênio Amoniacal.

Em relação às metas estipuladas no Programa Novo rio Pinheiros, mesmo antes da finalização das obras e operação das URs, os resultados demonstram que as concentrações médias de OD estão acima de 2 mg/L em toda a extensão do rio, e as de DBO no máximo de 30 mg/L, sendo o ponto mais crítico para ambos a Ponte do Córrego Jaguaré.

As curvas de permanência das concentrações de OD e DBO foram elaboradas a fim de entender o comportamento dessas não só espacialmente, como demonstrado nos gráficos anteriores, mas também temporalmente. Sendo assim, foi calculada a frequência do tempo em que as concentrações de OD permaneciam acima de 2 mg/L durante o ano (Figura 10). A frequência com que as concentrações de DBO se mantem abaixo de 30 mg/L é de 100%.

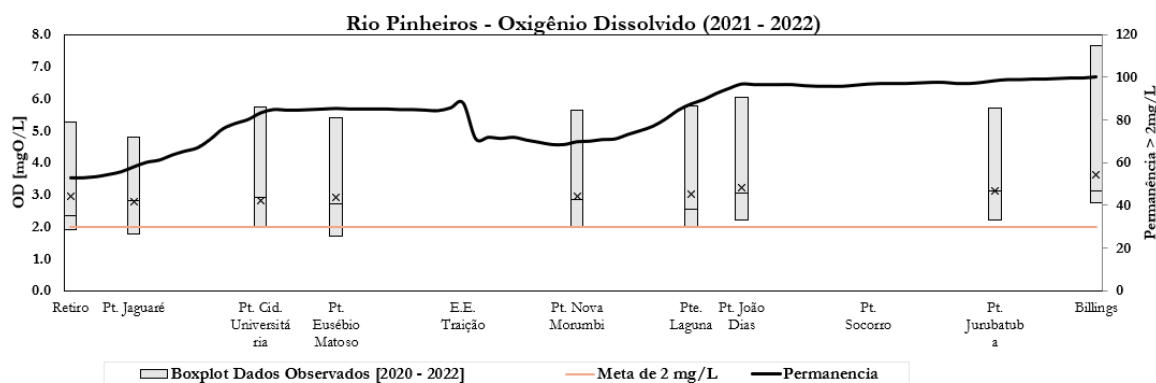


Figura 10 – Curva de permanência produzida com os resultados da simulação de qualidade da água do rio Pinheiros para o período de 2021-2022 para o OD

• Cenário de operação total das URs

As obras do Programa Novo rio Pinheiros executadas até maio de 2022 dizem respeito a obras estruturantes, obras convencionais de sistemas de esgotamento sanitário. No entanto, também é previsto como parte deste projeto a instalação de Unidades Recuperadoras da qualidade (URs) em alguns pontos, nos quais não é possível viabilizar a infraestrutura convencional. As obras das URs encontravam-se em fase de andamento em junho de 2022, sendo que foram finalizadas em dezembro de 2022, portanto a presente avaliação não contava com dados de monitoramento dos pós obras das URs. A localização destas URs é apresentada na Figura 11.

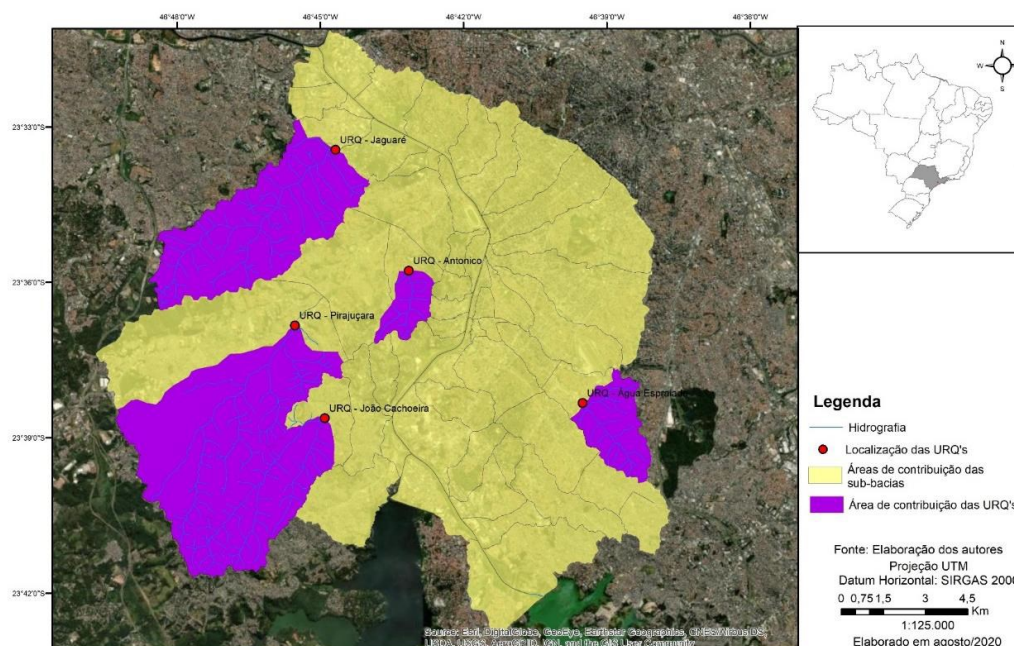


Figura 11 – Localização das URs

Mesmo assim, a partir das premissas descritas anteriormente foram executadas as simulações de geração de carga incluindo as URs. Os parâmetros considerados nas simulações foram DBO, NT, PT. Os resultados para estes parâmetros, para o Córrego Água Espraiada são apresentados na Figura 12 e mostra como a atuação das URs irá proporcionar redução das cargas em todos os parâmetros, atuando principalmente na redução da carga de base, reduzindo as médias anuais e do período seco. Esse comportamento é esperado, uma vez que nesses períodos as unidades conseguem tratar a maior parte da vazão afluente ao curso d'água, quando não toda, a depender do córrego.

A demonstrada redução de carga nos principais pontos de contribuição impactou as concentrações de mistura no rio Pinheiros, estas foram avaliadas em termos de médias anuais e em permanência de atendimento das metas (2mg/L para o OD e 30 mg/L da DBO).

A Figura 13 apresenta o perfil longitudinal da média anual da concentração de OD ao longo do rio Pinheiros comparando os resultados da simulação com e sem (para a situação atual) a operação das URs. A presença das URs promoveu um aumento na concentração de OD de 0,15 mg/L logo após a Ponte João Dias, de 0,22 mg/L na Ponte Eusébio Matoso, de 0,2 mg/L na Ponte Cidade Universitária, de 0,3 mg/L na Ponte do Jaguaré. O maior ganho ocorreu a montante da EE Traição, sendo de 0,38 mg/L de OD.

Para a DBO, o perfil longitudinal comparando as médias anuais com e sem a operação das URs (Figura 14), demonstra que as URs reduziram as concentrações de DBO em 3,3 mg/L na Ponte João Dias, sendo o ponto de maior redução, e em 3 mg/L na Ponte Cidade Universitária e na Ponte do Jaguaré.

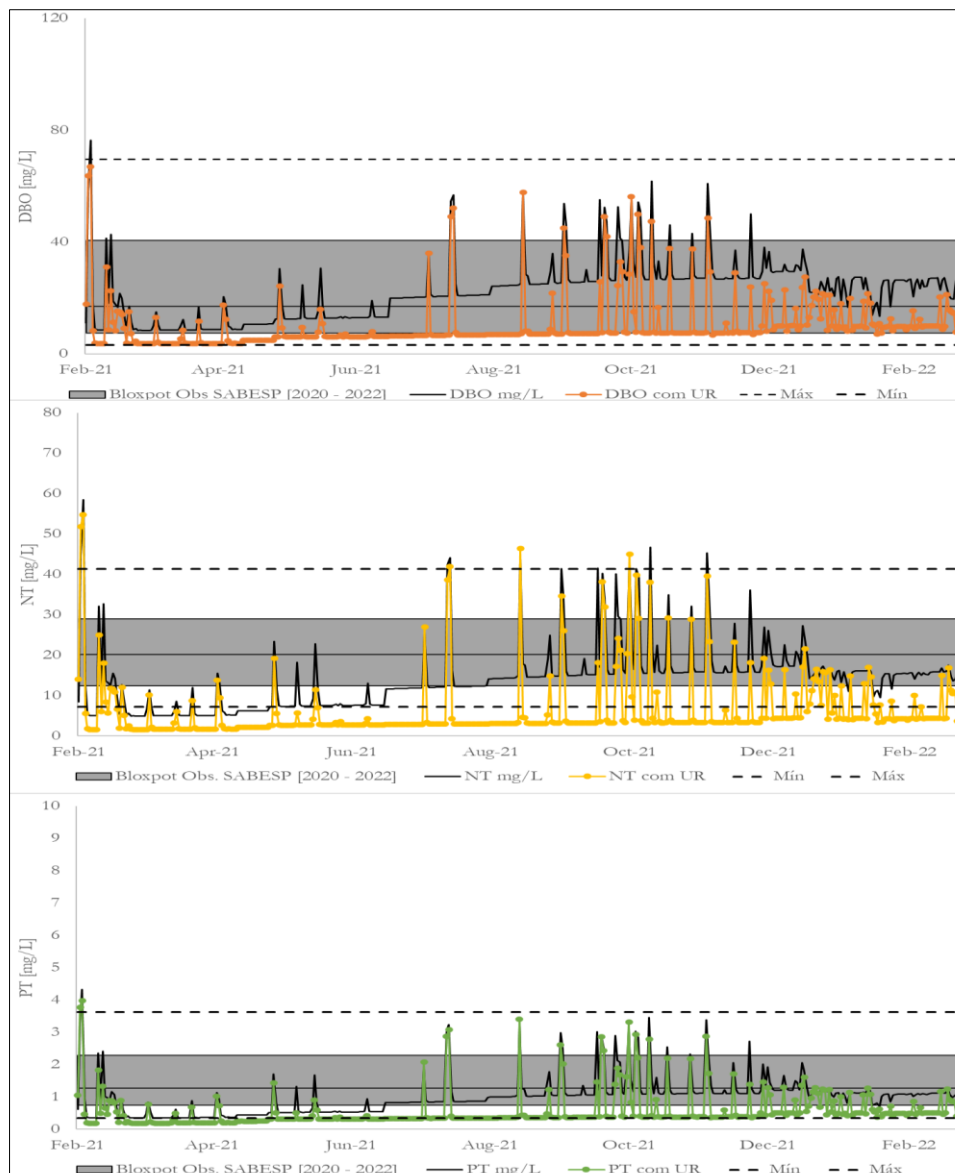


Figura 12 – Resultados da simulação de geração de carga comparando situação com e sem UR na foz do Córrego Água Espreada

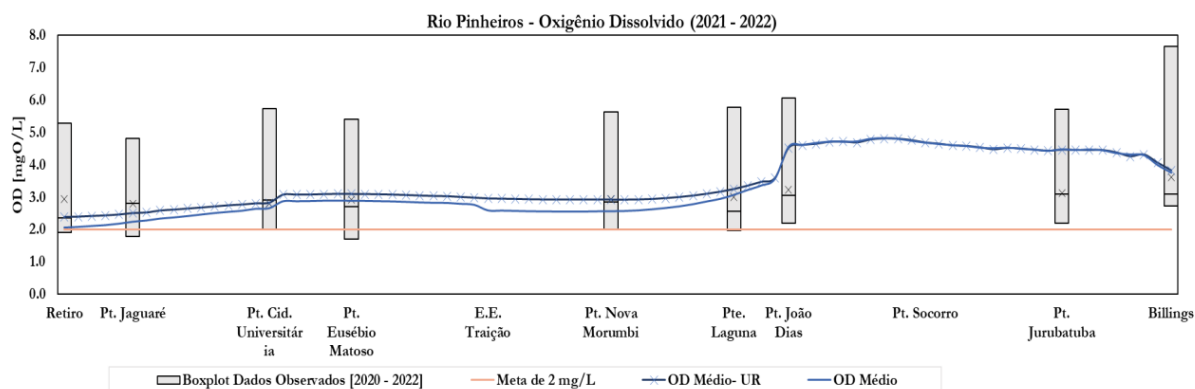


Figura 13 – Resultados da simulação de qualidade da água para o perfil longitudinal da média anual das concentrações de OD no rio Pinheiros

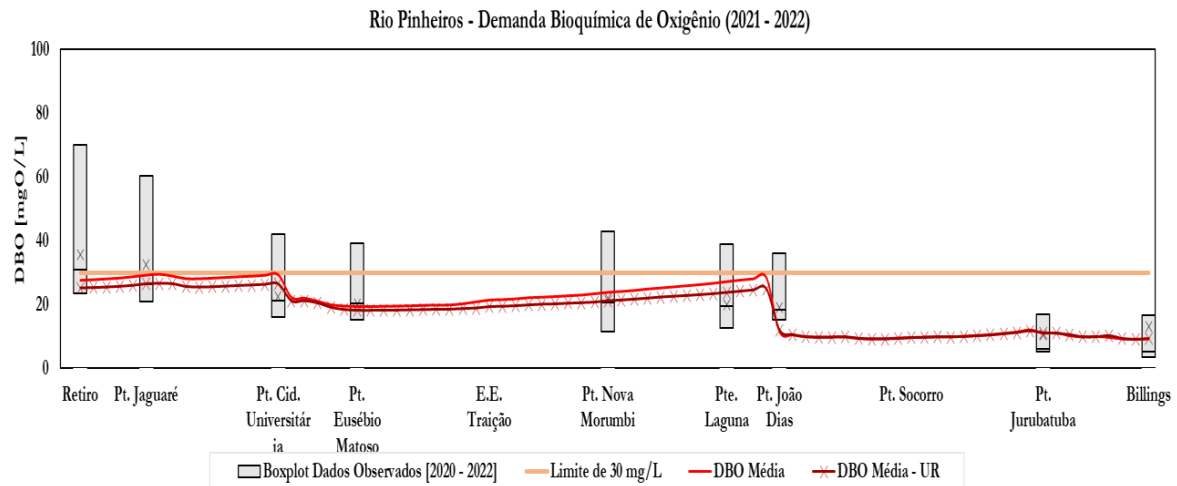


Figura 14 – Resultados da simulação de qualidade da água para o perfil longitudinal da média anual das concentrações de DBO no rio Pinheiros

A contribuição das URs também foi avaliada em termos de elevação da permanência de OD acima de 2 mg/L e da DBO abaixo de 30 mg/L no rio. Os resultados sem as URs já demonstravam que em relação à DBO a meta já era atingida 100% do tempo, desta forma os impactos da operação das URs são mais relevantes na permanência do OD acima de 2 mg/L.

A Figura 15 demonstra que as URs têm grande contribuição no aumento da permanência do OD acima de 2 mg/L especialmente no trecho entre a Ponte João Dias e a EE Traição, onde contribuem com um ganho de até 13.5 % do tempo, e entre as Pontes Cidade Universitária e Jaguaré com uma elevação da permanência de 63% do tempo para 77% do tempo, aproximadamente.

Apesar disso, segue a tendência de queda do atendimento à meta quando da aproximação das estruturas de controle (EE Traição e Retiro), locais de condições de velocidade de fluxo mais baixa que prejudicam a reaeração do canal.

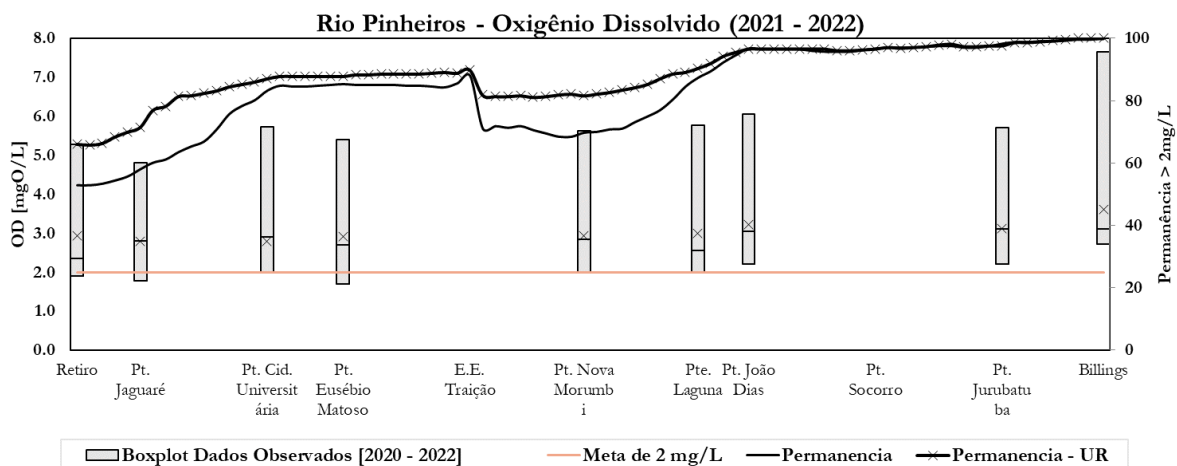


Figura 15 – Comparação das curvas de permanência concentrações de OD que foram maiores do que a meta de 2 mg/L no rio Pinheiros com e sem UR

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho, que é parte integrante do Estudo de Modelagem de Qualidade das Águas do rio Pinheiros, conduzido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH, foi de ajustar as ferramentas de modelagem matemática desenvolvidas durante o projeto às condições atuais do ambiente de estudo, considerando que o avanço das obras do Projeto Novo Pinheiros. Sendo assim foram aqui apresentados dados de qualidade da água monitorados durante o período de 2020 a 2022, a atualização do modelo de geração de carga e do modelo de qualidade da água do rio Pinheiros visando representar situação atual (junho de 2022) da bacia hidrográfica.

A avaliação das condições de qualidade da água dos córregos afluentes da bacia e do próprio rio Pinheiros foi realizada em relação ao enquadramento, rios classe 4, e a partir da aplicação da referência adotada pela SABESP como meta para o rio Pinheiros (OD maior do que 2mg/L e DBO menor do 30 mg/L).

Analizando o rio Pinheiros, fica nítida a redução das concentrações de DBO e aumento das concentrações de OD, para todos os afluentes e para o rio Pinheiros, no período de 2020 a 2022.

A atualização do modelo de qualidade da água contou com os novos dados de entrada gerados pelo modelo de geração de carga, as condições de contorno do modelo hidráulico, e a reavaliação dos coeficientes de desoxigenação (k_1) e de reaeração (k_2). O melhor ajuste encontrado para estes coeficientes foi a adoção de k_1 como $0,1 \text{ d}^{-1}$ e k_2 como $0,5 \text{ d}^{-1}$, valores que podem refletir uma característica mais lábil da matéria orgânica e uma maior troca entre a superfície da água e a atmosfera.

Os resultados das simulações de qualidade da água mostram melhora expressiva em relação à condição do diagnóstico para as médias anuais de OD e de DBO. Enquanto no diagnóstico as concentrações médias de OD variavam entre 0 e 2 mg/L, atualmente esta faixa mudou para 2 e 5 mg/L, sendo trecho final, entre a Ponte Cidade Universitária e a estrutura de Retiro o que apresenta as menores concentrações. Na matéria orgânica a faixa de concentrações médias anuais de DBO passou de 20 a 100 mg/L para 11 a 29,3 mg/L.

Tendo em vista que foi previsto como parte do Programa Novo rio Pinheiros a instalação de cinco Unidades Recuperadoras da qualidade (URs), locais onde não se pode fazer a coleta convencional, este estudo também avaliou e apresentou os impactos das URs por meio das simulações de geração de carga nos córregos onde estão instaladas e nas condições de qualidade da água do rio Pinheiros. Desta forma, foi possível verificar o comportamento das URs e o quanto elas contribuem para redução do DBO e aumento de OD nos córregos que as possuem e no rio Pinheiros. Também foi avaliada a permanência de atendimento das metas de OD acima de 2mg/L e DBO abaixo de 30 mg/L. O resultado mais relevante ocorreu para o OD, uma vez que a DBO já tinha atingido 100% de permanência abaixo de 30 mg/L durante o ano todo sem as URs em operação. Para o OD os ganhos de permanência chegaram a 14%, especialmente no trecho inferior. As obras das URs encontravam-se em fase de andamento em junho de 2022, sendo que foram finalizadas em dezembro de 2022, portanto a presente avaliação não contava com dados de monitoramento dos pós obras das URs.

Conclui-se que foram avaliadas as novas condições de qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Pinheiros e atualizadas suas ferramentas de gestão: modelo matemático de geração de cargas e de qualidade da água a partir dos novos dados de contorno. Essa atualização permite que essas ferramentas sigam sendo aplicadas no planejamento eficaz da área e representando com acurácia o comportamento das variáveis de Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Total e Fósforo Total. Entende-se que a oportunidade de poder retratar esta melhora considerável da qualidade na modelagem matemática computacional trará maior confiabilidade e robustez à esta notável ferramenta de gestão.

AGRADECIMENTOS

A SABESP vem conduzindo diversos estudos de modelagem matemática no âmbito do Programa Novo rio Pinheiros, a qual prestamos nossos agradecimentos pela oportunidade de participar de importante e relevante trabalho.

Este estudo, ora apresentado, é baseado no trabalho desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico – FCTH, Modelagem da Qualidade das Águas do Rio Pinheiros (SABESP, 2021 e SABESP, 2023), sob a coordenação

do Dr. Professor José Rodolfo Scarati Martins e sua valiosa e competente equipe, aos quais a Sabesp e equipe PIT prestam sinceros agradecimentos e os parabenizamos pelo excelente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAPTISTELLI, S.C.; VERAS, M.S. AVALIAÇÃO DAS AÇÕES PROPOSTAS NO PROJETO NOVO RIO PINHEIROS – MODELAGEM MATEMÁTICA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS. Trabalho apresentado no 31º. Congresso ABES. 2021.
2. BAPTISTELLI, S.C; SCARATI, R; AMORIM, L; MAGALHÃES, A.; DUARTE, B.; NOGUEIRA, F. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS AFLUENTES E DO RIO PINHEIROS FRENTE ÀS OBRAS DO PROJETO NOVO RIO PINHEIROS – MONITORAMENTO E MODELAGEM. XX Silubesa – Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Aveiro – Portugal. 2022a;
3. BAPTISTELLI, S.C; SCARATI, R; AMORIM, L; MAGALHÃES, A.; DUARTE, B.; NOGUEIRA, F. OPERAÇÃO DE BOMBEAMENTO INTERMITENTE - OPERAÇÃO BOCHECHO - NO CANAL DO RIO PINHEIROS, SÃO PAULO, BRASIL. XXX Congresso Latinoamericano de Hidráulica. Foz do Iguaçu. 2022b
4. Baptistelli, S.C. Revitalização de rios urbanos na cidade de São Paulo. Palestra proferida no IV Simpósio de revitalização de rio Urbano. Brasília. 2022.
5. EMAE - Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A. Canal Pinheiros. <http://www.emae.sp.gov.br/canais.htm>. Acesso em 23/04/2020.
6. FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA - FCTH. Manual do Programa CAbc. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. São Paulo, SP, 2002.
7. SABESP. MODELAGEM DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PINHEIROS RELATÓRIO FINAL – R1 – TOMO IV - Modelagem Hidrodinâmica e de Qualidade da Água Unidimensional. FCTH. São Paulo. 2021.
8. SABESP. MODELAGEM DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PINHEIROS – NOTAS TÉCNICAS ADICIONAIS - NT03 – NT04 – NT05. FCTH. São Paulo. 2023.
9. SÃO PAULO. RESOLUÇÃO SIMA Nº 14, DE 08 DE MARÇO DE 2019. Institui a Comissão Multidisciplinar de Estudos para despoluição do Rio Pinheiros, no âmbito da Secretaria de Estado de Infraestrutura e Meio Ambiente. São Paulo, 2019.