

MODELAGEM MATEMÁTICA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PINHEIROS – PROJETO NOVO 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 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. Professora do Centro Universitário SENAC no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e da pós-graduação da Universidade Mackenzie.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300 – Pinheiros – São Paulo – SP – CEP: 05429-900 – Brasil – Tel: (11) 9977-0217 - e-mail: sbaptistelli@sabesp.com.br.

RESUMO

O rio Pinheiros é um importante corpo hídrico da cidade de São Paulo, inserido em uma bacia altamente urbanizada do Alto Tietê, apresenta-se fortemente poluído, o que faz com que tenha experimentado longos períodos de condições anaeróbias em suas águas, gerando odores desagradáveis. O Governo do Estado, por meio da SIMA, instituiu uma Comissão Multidisciplinar de Estudos para a Despoluição do Rio Pinheiros, na qual a SABESP é entidade integrante. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar os resultados das simulações de modelagem matemática da qualidade das águas do rio Pinheiros, considerando diversos cenários. Os resultados mostram que é notória a melhoria da qualidade das águas, em todo o rio Pinheiros, se comparado ao cenário atual, considerando as metas de atendimento com coleta e tratamento de esgotos. Também mostra que mesmo no cenário mais otimista, em 2022, o rio Pinheiros pode apresentar trechos com OD inferior a 2 mg/L por alguns meses do ano. Para sub-bacias mais problemáticas, é evidente a diferença entre os cenários com e sem URQs, ressaltando o ganho no índice de conformidade de OD com a implantação das mesmas. Os resultados também confirmam a necessidade de ações adicionais no rio Pinheiros, principalmente no Canal Inferior.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem matemática; Qualidade de água; Rio Pinheiros.

INTRODUÇÃO

O aumento da consciência ambiental tem provocado os cientistas e engenheiros a focarem suas atenções no problema de prever os impactos ambientais que obras e empreendimentos podem causar nos corpos d'água. Diagnósticos e prognósticos confiáveis são fundamentais para a tomada de decisão em ações que interfiram no meio ambiente, e têm sido obtidos com o auxílio de ferramentas apropriadas de modelagem matemática. (BAPTISTELLI, 2008).

A modelagem e simulação matemática de sistemas ambientais é um instrumento entre os procedimentos metodológicos da pesquisa científica, ou seja, sua elaboração deve ser realizada acompanhando os critérios e normas da metodologia científica. Para tanto, são necessários recursos materiais, como software e hardware, e recursos humanos, com pessoal capacitado para a função de modelar estes sistemas.

Entende-se que ferramentas que auxiliem na previsão de impactos ambientais e, conseqüentemente, nas tomadas de decisão assertivas em ações que interfiram no meio ambiente, dão confiabilidade aos diagnósticos e prognósticos de sistemas ambientais, portanto, são efetivamente importantes.

O rio Pinheiros é um corpo hídrico localizado na cidade de São Paulo na bacia altamente urbanizada do Alto Tietê, afetado pelos despejos de esgotos domésticos e industriais, resíduos sólidos e pela poluição difusa. Nas condições atuais, decorrentes dos níveis de poluição, o rio Pinheiros, em determinadas épocas do ano, particularmente na estiagem, tem experimentado condições anaeróbias em suas águas, gerando odores desagradáveis. Adicione-se ainda que as condições sanitárias ficam indesejáveis, fruto da presença de lixo flutuante e da proliferação de pernilongos.

O Governo do Estado de São Paulo tomou por decisão promover a melhoria da qualidade da água do rio Pinheiros e a adequação de seu entorno, por meio da Resolução SIMA nº 14, instituída pelo Secretário de Estado de Infraestrutura e Meio Ambiente. No Artigo 1º da Resolução é instituída a Comissão Multidisciplinar de Estudos para despoluição do Rio Pinheiros a quem compete: (i) Coordenar o planejamento geral dos objetivos de melhoria de qualidade das águas do rio Pinheiros, bem como a adequação do entorno, de maneira que possibilite a redução da carga poluidora proveniente do esgoto, das águas pluviais, do lixo urbano e de sedimentos da bacia hidrográfica; (ii) Coordenar e acompanhar os trabalhos, centralizando o fluxo de informações e de documentação relacionados ao desenvolvimento do projeto; e (iii) Promover a infraestrutura necessária à execução dos trabalhos. Sob a coordenação da SIMA são integrantes desta Comissão, a CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a EMAE - Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A., a SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e o DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica.

A SABESP, por ser a responsável pelo esgotamento sanitário na RMSP, está desenvolvendo projetos de obras estruturantes e ações operacionais para a diminuição da carga de esgoto sanitário dos afluentes do rio Pinheiros. A SABESP também está desenvolvendo projeto para soluções não convencionais as chamadas URQs (Unidade Recuperadora da Qualidade das Águas) que consistem em estruturas projetadas para tratar as vazões fluviais que contém cargas remanescentes de esgoto não tratado provenientes de áreas informais.

Cabe lembrar que o processo de despoluição do rio Pinheiros não é de responsabilidade única da Sabesp, além dos integrantes da Comissão formada, outros atores devem atuar neste processo, com diversas tarefas ou funções. A gestão ambiental, que está a cargo da CETESB que deve fiscalizar as fontes de poluição industrial e áreas de preservação ambiental. A gestão de recursos hídricos deve ficar a cargo do DAEE, da EMAE e das Prefeituras Municipais – PMs com a limpeza/dragagem e desassoreamento de rios e córregos, bem como a limpeza de galerias de águas pluviais. As PMs devem cumprir as funções de Controle de resíduos sólidos (coleta de lixo, varrição de ruas), controle do uso e ocupação do solo, e de ações de urbanização de fundos de vales ocupados. Destaca-se que o envolvimento de toda a sociedade com descarte correto dos resíduos e, neste sentido, a conscientização socioambiental é muito importante.

A bacia do rio Pinheiros ocupa uma área de 271 km², com uma população em torno de 3,3 milhões de habitantes. Conta com atendimento de 100% em abastecimento de água e índice de coleta de esgoto é de 89%, sendo que 61% do volume de esgoto gerado na bacia é encaminhado para tratamento, dados referentes ao ano de 2018 (SABESP, 2019). Esta porção da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP apresenta um adensamento populacional intenso e ocupação desordenada com uma parcela da população vivendo em áreas de ocupação irregular, na chamada “cidade informal” que se apresenta com infraestrutura de esgotamento sanitário deficiente devido à dificuldade na instalação de redes de esgoto e coletores nos fundos de vale, e com crescimento rápido e desordenado. De acordo com o IBGE (2017), a densidade demográfica do Brasil, em 2010 era de 22,42 habitantes/ km², do estado de São Paulo de 166,23 habitantes/ km², da cidade de São Paulo 7.398,26 habitantes/ km². Se compararmos estes números com a bacia do rio Pinheiros, que tem densidade demográfica de 12.177 habitantes/ km², pode-se perceber o quão intensa é a densidade demográfica desta bacia. A favela de Paraisópolis, na bacia do rio Pinheiros, tem densidade demográfica de 45.000 habitantes/ km².

Neste contexto, o objetivo desse trabalho é apresentar os resultados das simulações elaboradas dentro do estudo de modelagem matemática da qualidade das águas do rio Pinheiros, considerando os cenários atual (2018) e futuro (2022) com a execução das obras estruturantes e ações operacionais propostas pela Sabesp. Entende-se que estudos de modelagem matemática da qualidade das águas devem agregar conhecimento, visando um melhor entendimento das condições e fenômenos atuais e um prognóstico da situação futura que será obtida com a implantação das ações de despoluição do rio.

METODOLOGIA:

Trata-se de uma pesquisa de caráter interpretativo onde são apresentados os métodos utilizados para a elaboração da modelagem matemática, procurando também compreender como os resultados foram alcançados e quais seus significados no contexto atual da qualidade das águas do rio Pinheiros. Para a utilização de modelagem matemática foram aproveitados dados secundários para a inicialização, calibração e simulação dos cenários nos modelos matemáticos. Na sequência são apresentados os procedimentos da

pesquisa, a estruturação da modelagem, os dados de inicialização de calibração e os modelos (softwares) utilizados.

Para o entendimento do assunto em tela, faz-se necessário conceituar: sistemas ambientais, modelos (modelagem matemática) e simulação ambiental. Esses conceitos são apresentados, na sequência.

- **Sistemas ambientais, Modelagem matemática e Simulação ambiental**

De forma bastante abrangente, um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos inter-relacionados que interagem no desempenho de uma função. Os sistemas ambientais são os responsáveis pelo fornecimento de matéria e energia aos sistemas socioeconômicos e deles recebem os seus produtos (edificações, insumos, emissões, dejetos, rejeitos, etc.). São exemplos de sistemas ambientais: o ciclo hidrológico (sistema fechado, com permuta de energia, mas não de matéria, pois a água do planeta tem sempre a mesma quantidade, o que muda é qualidade); bacia hidrográfica (sistema aberto: com permuta constante de energia e matéria); atmosfera; estuários; rios e lagos; entre outros.

Conforme CHRISTOFOLETTI (1999), de modo geral, modelo pode ser compreendido como “qualquer representação simplificada da realidade”. Ainda segundo o autor, a definição mais adequada e apresentada por HAGGETT E CHORLEY (1967, 1975; apud CHRISTOFOLETTI, 1999), assinalando que “modelo é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes”.

VON SPERLING (2007) ressalta que modelos ambientais objetivam representar a realidade tal como é medida, e por isto dificilmente pode representar toda a complexidade das múltiplas interações nos sistemas ambientais reais, várias delas não mensuráveis ou quantificáveis.

Para a obtenção de bons resultados e uma correta interpretação da modelagem matemática de sistemas ambientais é necessário que o modelador conheça a essência do fenômeno de interesse, ou seja, é necessário que tenha um modelo conceptual adequado do que está sendo estudado (ROSMAN, 2010). Portanto, para estruturar e conceber uma modelagem que represente fenômenos da natureza é fundamental se conhecer o sistema ambiental que se pretende modelar.

A ferramenta “modelagem matemática” (ou modelo) consiste em realizar “simulações” de diferentes condições dos “sistemas ambientais”. Assim, através de cenários de simulação podemos avaliar situações atuais (diagnóstico) e situações futuras (prognóstico) de um determinado sistema ambiental, assim como simular cenários de impacto ambiental que um empreendimento pode causar no sistema ambiental.

Depois de definido “sistema ambiental”, “modelo ou modelagem matemática”, e “simulação ambiental” é possível entender que os modelos de simulação ambiental se apresentam como ferramentas técnicas que possibilitam compreender o meio ambiente e visualizá-lo de forma integrada, podendo associar informações físicas, químicas e biológicas.

- **PLAMTE - Plano de Modernização do Tratamento de Esgoto na Região Metropolitana de São Paulo**

O PLAMTE, em elaboração, será um instrumento para orientar a SABESP no processo decisório da definição e estabelecimento da sequência de ações e investimentos nas cinco Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que integram o Sistema Principal de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), de forma a atender aos compromissos entre a Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP) e a SABESP.

O desenvolvimento do estudo foi dividido em quatro frentes (Frente 1 a 4) de trabalho, cada frente composta por grupos de atividades afins e inter-relacionadas entre si. Na Frente 1, de interesse deste trabalho, foram elaborados “Cenários de Poluição e Simulações da Qualidade da Água” para a bacia do rio Tietê e seus principais afluentes (desde a nascente até a seção imediatamente a montante da confluência com o rio Jundiá), assim como prever mudanças esperadas de acordo com cenários de interesse.

Para a avaliação da qualidade das águas do rio Pinheiros, foi necessário reestruturar o modelo elaborado para o PLAMTE, a fim de atender aos objetivos das novas simulações propostas. Este procedimento incluiu a atualização dos dados das fontes de poluição consideradas nos aportes laterais do rio Pinheiros para cenários atual (2018) e futuro (2022), dados atualizados para a situação 2018 de descarte de esgoto não tratado no rio Pinheiros, além de dados de previsão para 2022 após a implantação das obras e ações programadas.

- **Dos modelos utilizados:**

Para o Modelo Matemático de Qualidade da Água (MMQA), foram selecionados dois softwares: (1) o SWMM5 / PCSWMM, para o desenvolvimento do Modelo de Bacias Hidrográficas; e (2) o HEC-RAS, para o desenvolvimento do Modelo de Corpo Receptor e de Qualidade, em conjunto com planilhas auxiliares.

O *Storm water Management Model (SWMM)* (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana - SWMM) da USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas, que pode ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso ou para uma simulação contínua de longo período. O SWMM é usado em todo o mundo para planejamento, análise e projeto relacionados ao escoamento de águas pluviais, sistemas combinados de esgotamento sanitário e sistemas de drenagem (Fonte: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm#tab-1>).

Na versão mais recente, SWMM5, pode-se simular armazenamento, escoamento superficial, degelo, propagação de ondas em canais, roteamento de constituinte e transporte de sedimentos. Um dos benefícios significativos para o modelo é a facilidade e flexibilidade de representar e quantificar a poluição difusa de uma variedade de usos do solo. O modelo é de domínio público, bem documentado e é amplamente utilizado.

A interface PCSWMM (*Personal Computer Storm Water Management Model*) foi desenvolvida pela empresa *Computational Hydraulics International - CHI*, de Ontario, no Canadá, para melhorar as tarefas de configuração e visualização de resultado do SWMM. A ferramenta inclui uma interface de GIS (*Geographic Information System*) para integração e processamento de drenagem, propagação de ondas e uso do solo. Outros recursos incluem análises e gerenciamento de séries temporais, análise de cenários e análises de sensibilidade. O PCSWMM não modifica o modelo SWMM5 e, desse modo, os modelos podem ser desenvolvidos mais rapidamente com PCSWMM, mas podem ainda ser utilizados com o SWMM5 se o usuário não quiser continuar pagando taxas de licença.

Na modelagem em tela, para o cálculo do escoamento superficial, foi utilizado o modelo SWMM5 com a interface PCSWMM. Este software considera cada uma das sub-bacias como um reservatório não linear, no qual os aportes de vazão são gerados por precipitações e aportes das sub-bacias a montante. Já as saídas de vazão dentro da sub-bacia são a infiltração, a evaporação e o escoamento superficial. O modelo trabalha em regime transitório, portanto a altura da água na sub-bacia é continuamente atualizada, conforme o passo do tempo, resolvendo equações numéricas e do balanço de massa ao longo da sub-bacia.

O modelo HEC-RAS foi inicialmente desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE – *United States Army Corps of Engineers*) para análises hidráulicas de regime permanente unidimensional das calhas dos rios. As versões mais recentes do modelo incluem a simulação da qualidade da água e sedimentos.

O modelo é de domínio público, sendo amplamente utilizado, além de continuar a ser mantido pelo USACE. Os parâmetros que podem ser simulados incluem OD, DBO, temperatura, constituintes genéricos conservativos e não conservativos, coliformes fecais, N Amoniacal, NO₂, NO₃, N Org, PO₄, P Org e fito plâncton.

O modelo utiliza um único conjunto de parâmetros e taxas de decaimento para os constituintes da qualidade da água. Esta abordagem não permite ajustar os valores observados para diferentes trechos mediante a modificação e adaptação setorializada das taxas e parâmetros de decaimento para os constituintes da qualidade da água, o que exige uma correta caracterização das cargas. Isto torna a modelagem mais trabalhosa, mas garante uma caracterização mais confiável das fontes de poluição, objeto do presente estudo.

O modelo inclui uma interface gráfica GUI (*Graphical User Interface*) bem desenvolvida, além de ampla documentação de apoio. A GUI auxilia no gerenciamento de arquivos, revisão de parâmetros e visualização gráfica de resultados do modelo. Está projetado para importar e exibir seções transversais do rio, o que simplifica o processo de configuração do modelo, sendo que, a alimentação com dados de entrada é de simples desenvolvimento. Os componentes de qualidade da água e sedimentos se baseiam nas mesmas equações vigentes utilizadas em modelos clássicos de qualidade da água, tais como QUAL-2E, QUAL-2K e CE-QUAL-RIV1.

- **Estruturação da Modelagem de Qualidade das águas do rio Pinheiros**

A estruturação da modelagem da qualidade das águas do rio Pinheiros consistiu na atualização do PCSWMM, mantendo-se o ano hidrológico de 2009-2010, anteriormente utilizado no PLAMTE, sendo modificada somente a condição de contorno. Também foram atualizadas as planilhas auxiliares de esgoto não tratado, poluição difusa e poluição industrial, com base em dados mais recentes fornecidos pela SABESP, além da redefinição da delimitação das sub-bacias do rio Pinheiros, de forma a considerar a influência das intervenções propostas pela SABESP, como a inclusão das URQs para tratamento de água de rio.

Cabe lembrar que, apesar do modelo ter sido reestruturado de forma a permitir a simulação do comportamento hidráulico e de qualidade do rio Pinheiros, existem dificuldades para se representar a realidade deste rio em função de suas peculiaridades, como a possibilidade de reversão do mesmo. Para simular a reversão do rio Pinheiros foram utilizados os dados da operação de bombeamento disponibilizados à época do projeto de flotação (2009-2010) e dados de ativação fornecidos pela EMAE.

Após as redefinições das sub bacias e atualização do modelo PCSWMM, foram obtidos resultados da estimativa de vazão diária de escoamento superficial para os anos de 2018 e 2022, por sub bacia. Estes dados foram utilizados na configuração de todos os cenários propostos.

As fontes de poluição que impactam o modelo de corpo receptor são estruturadas como condições de contorno e aportes laterais. As fontes se dividem em não pontuais: poluição difusa e esgoto não tratado; e pontuais: industrial e descargas de ETEs. No caso da bacia do rio Pinheiros, não existe o lançamento pontual de ETE, pois todos os esgotos que vão para tratamento são exportados para fora da bacia e vão para a ETE Barueri.

Após a estruturação do modelo da bacia do rio Pinheiros foram executados ajustes na calibração e posterior simulação dos cenários, descritos na Tabela 1:

Tabela 1 – Cenários de Simulação

Cenário	Situação	Porcentagem de coleta e tratamento de esgotos
Cenário 1	Situação em 2018	89% de esgoto coletado e 61% tratado
Cenário 2	Situação em 2022, com realização das obras estruturantes e ações operacionais	93% de esgoto coletado e tratado
✓ Cenário 2.1	Representando o Cenário 2 sem as URQs	
✓ Cenário 2.2	Representando o Cenário 2 com implantação e operação das URQs	
Cenário 3	Situação Tendencial em 2022, com realização parcial das obras estruturantes e ações operacionais, considerando efetividade de 90% das obras previstas	88% de esgoto coletado e tratado
✓ Cenário 3.1	Representando o Cenário 3 sem as URQs	
✓ Cenário 3.2	Representando o Cenário 3 com implantação e operação das URQs	

Fonte: SABESP, 2019

Na Figura 1 são apresentados a divisão das sub-bacias de esgotamento sanitário, a localização dos aportes laterais, o corpo d'água modelado (rio Pinheiros), o corpo d'água secundário e as URQs.

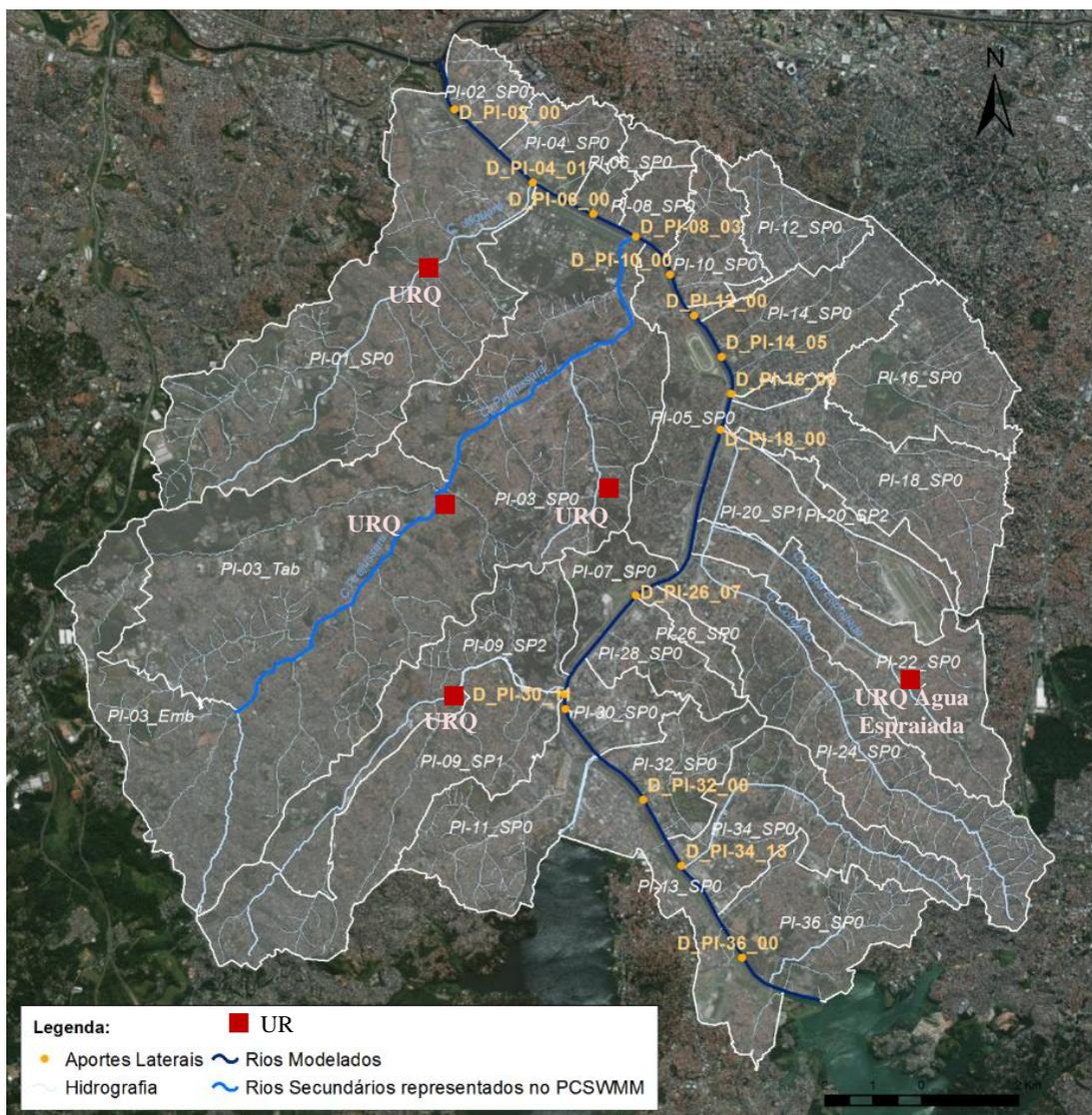


Figura 1 – Localização dos aportes laterais, corpo d'água modelado (rio Pinheiros), corpo d'água secundário, divisão das sub-bacias de esgotamento sanitário e URQs. Fonte de dados: SABESP, 2019

- **Dos dados de entrada dos modelos**

Os dados de entrada de vazões de esgoto da bacia do rio Pinheiros são divididos por: esgoto gerado, esgoto coletado, esgoto encaminhado para tratamento, esgoto não coletado não tratado e esgoto coletado não tratado. Foram calculadas as vazões de esgoto com base no cadastro técnico e dados de micromedição de consumo de água da Sabesp.

Com base nas premissas e definições estabelecidas anteriormente, foram calculadas as vazões e concentrações das fontes de poluição consideradas. Com isso, foram estimadas as cargas de afluentes ao rio Pinheiros.

As vazões de esgoto consideram a vazão de infiltração de água pluvial nas redes coletoras de esgoto e vazões de esgoto doméstico e industrial lançados na rede de coleta. Os dados de entrada das vazões e das cargas anuais de DBO, afluentes ao rio Pinheiros, que compõem o modelo de qualidade estão apresentados de forma resumida na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo dos dados de entrada no modelo de vazões e cargas anuais de DBO

Vazões e cargas	Cenário 1 - 2018	Cenário 2 - 2022	Cenário 3 - 2022
Esgoto gerado (L/s)	7.558	7.467	7.467
Esgoto Tratado (L/s)	4.596	6.941	6.554
Esgoto não tratado (L/s)	2.962	526	913
Porcentagem de Esgoto Coletado	89 %	93 %	89 %
Porcentagem de Esgoto Tratado	61 %	93 %	89 %
Carga de DBO: Esgoto não tratado (ton/ano) – Sem URQs	28.471	6.413	10.793
Carga de DBO: Carga difusa (ton/ano) – Sem URQs	5.905	6.125	6.002
Carga de DBO: Carga Industrial (ton/ano) – Sem URQs	39	34	34
Carga de DBO: Total (Esgoto não tratado + Carga difusa + Carga Industrial) (ton/ano) – Sem URQs	34.415	12.573	16.829
Carga de DBO: Esgoto não tratado (ton/ano) – Com URQs	-	6.148	7.415
Carga de DBO: Carga difusa (ton/ano) – Com URQs	-	4.004	6.002
Carga de DBO: Carga Industrial (ton/ano) – Com URQs	-	20	21
Carga de DBO: Total (Esgoto não tratado + Carga difusa + Carga Industrial) (ton/ano) – Com URQs	-	10.210	13.493

Na Figura 2 são apresentadas as cargas anuais e acumuladas para cada cenário de simulação, divididas por fonte de poluição.

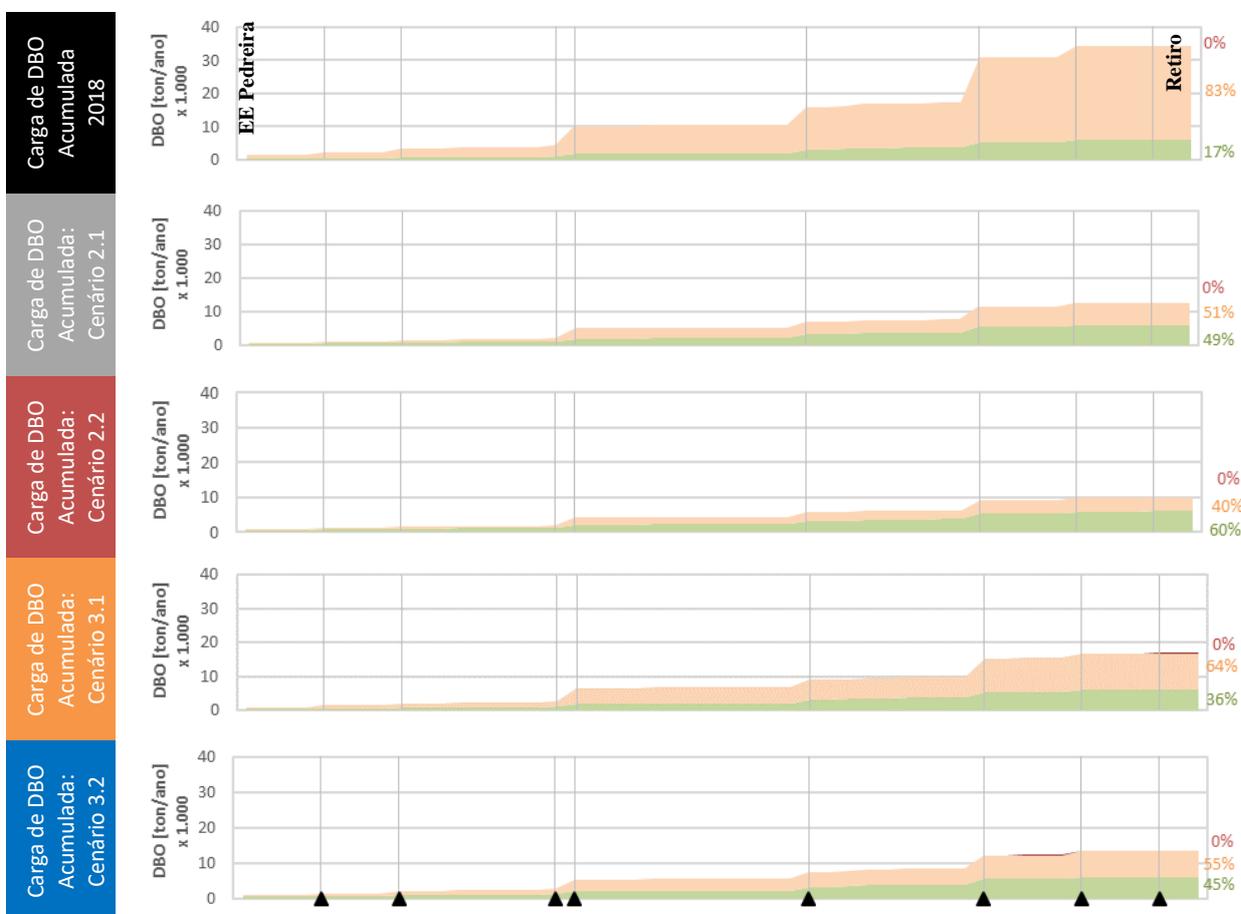


Figura 2 – Cargas anuais acumuladas de DBO ao longo do rio Pinheiros nos diferentes cenários.

Fonte de dados: SABESP, 2019

Observando-se as cargas acumuladas de DBO ao longo do rio Pinheiros na Figura 2, é notório que o aumento da coleta de esgotos de 89% para 93% impacta a participação da poluição difusa em relação ao esgoto total

não tratado. A Figura 3 apresenta um compilado de cargas calculadas para cada sub-bacia em cada um dos cenários simulados.

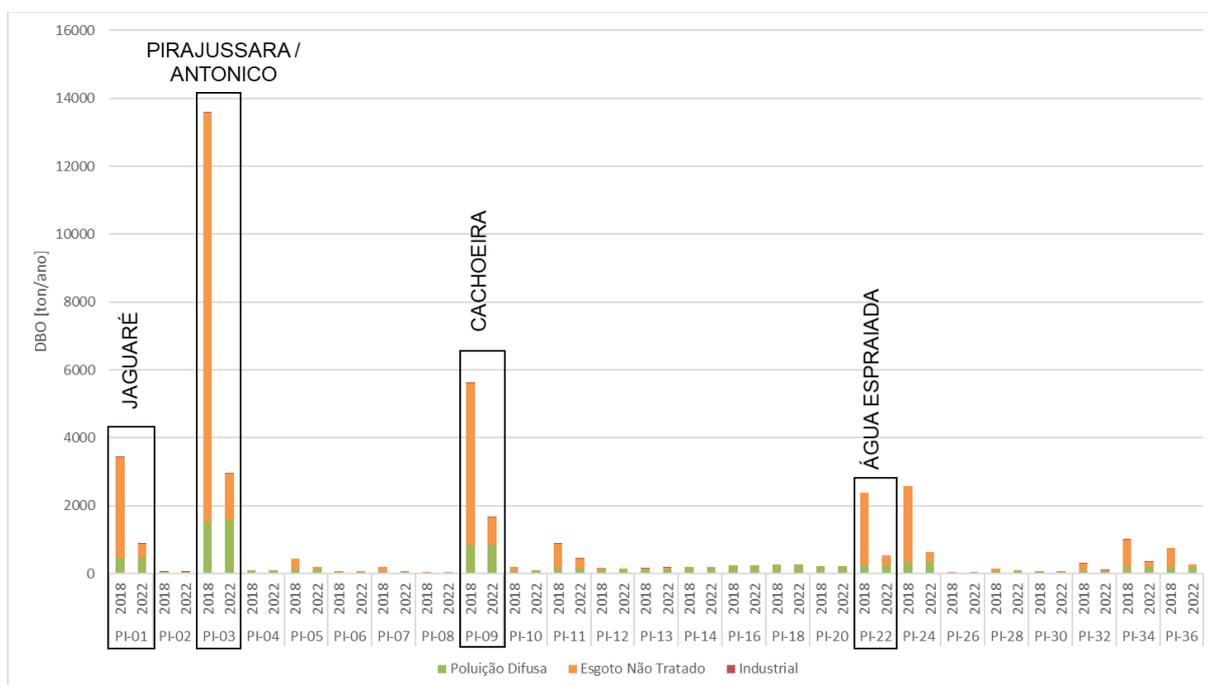


Figura 3 – Cargas anuais de DBO para os cenários simulados. Fonte de dados: SABESP, 2019

É possível visualizar na Figura 1 as sub-bacias indicadas na Figura 3, e assim perceber que a maior das sub-bacias, em área e carga, é a PI-03, do córrego Pirajuçara. Junto com as demais sub-bacias destacadas (PI-01, PI-09 e PI-22) são as que mais apresentam áreas de favelas, ou seja, áreas de ocupação irregular ou áreas informais.

Para estas áreas, as URQs, ainda em estudo pela SABESP, serão responsáveis por captar a água dos rios e tratá-las através de processos físico-químicos e/ou biológicos em estações localizadas em áreas adjacentes ao rio. Estas águas são poluídas com alta carga orgânica, pois recebem esgotos destas ocupações irregulares (áreas informais) onde não é possível o acesso para implantação de obras convencionais de esgotamento sanitário. Na Tabela 3 são apresentadas as capacidades de tratamento e as eficiências de remoção consideradas para cada URQ na modelagem.

Tabela 3 - Capacidades de tratamento e eficiências de remoção das URQs

URQ	Capacidade de Tratamento (L/s)	Eficiência de Remoção
Jaguareé	300	50%
Pirajuçara	600	80%
Antonico	180	80%
Água Espraiada	180	80%
Cachoeira	300	80%

Fonte de dados: SABESP, 2019

Para a consideração da capacidade de tratamento das URQs foram estimadas as vazões de esgoto que as áreas informais geram, somada às vazões de escoamento superficial do rio/córrego, considerando a vazão específica de 14,83 L/s.Km² e permanência de 60%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

É importante ressaltar que, quando os resultados da modelagem da qualidade das águas do rio Pinheiros forem analisados, sempre deverá ser levado em consideração que eles são resultantes das cargas afluentes aplicadas, estabelecidas e ajustadas no modelo com base em premissas durante o processo de calibração. Estas premissas

foram definidas com o melhor critério possível e, quando disponível, utilizando informações particulares da região, sempre visando obter uma ordem de grandeza razoável de acordo com o objetivo do estudo. Além disso, os dados disponíveis para a calibração foram suficientes para estabelecer tendências sazonais e médias nos diferentes pontos monitorados.

- **Ajustes da Calibração do Modelo de Qualidade**

A calibração completa do Modelo Matemático de Qualidade da Água foi realizada no contexto do PLAMTE. Entretanto, visto que o trabalho anterior tinha como foco a modernização das 5 maiores Estações de Tratamento de Esgoto da RMSB, maior atenção foi dada à calibração do rio Tietê. No contexto atual, para o presente estudo, alguns ajustes foram realizados na configuração do módulo de qualidade da água do modelo visando sua adaptação à realidade atual do rio Pinheiros.

Com base em dados existentes de campanhas de monitoramento de qualidade da água no rio Pinheiros, buscou-se ajustar as curvas longitudinais médias do Cenário 1 – Situação Atual 2018 – à distribuição estatística dos dados observados, representados pelos box-plots.

A Figura 4 apresenta os resultados da simulação comparados com os resultados das estatísticas dos dados da CETESB. Foram utilizados dados observados de 2010 a 2014 para OD e 2010 a 2018 para DBO. Neste caso, foram utilizados dados de todo o ano, portanto, compara-se a curva da média total (linha contínua) com os box-plots, resultando também em condições mais satisfatórias de aderência dos valores obtidos após os ajustes no modelo aos dados observados, em comparação aos resultados da simulação original sem os ajustes. Dessa maneira, considera-se que o modelo esteja apto a simular as condições futuras.

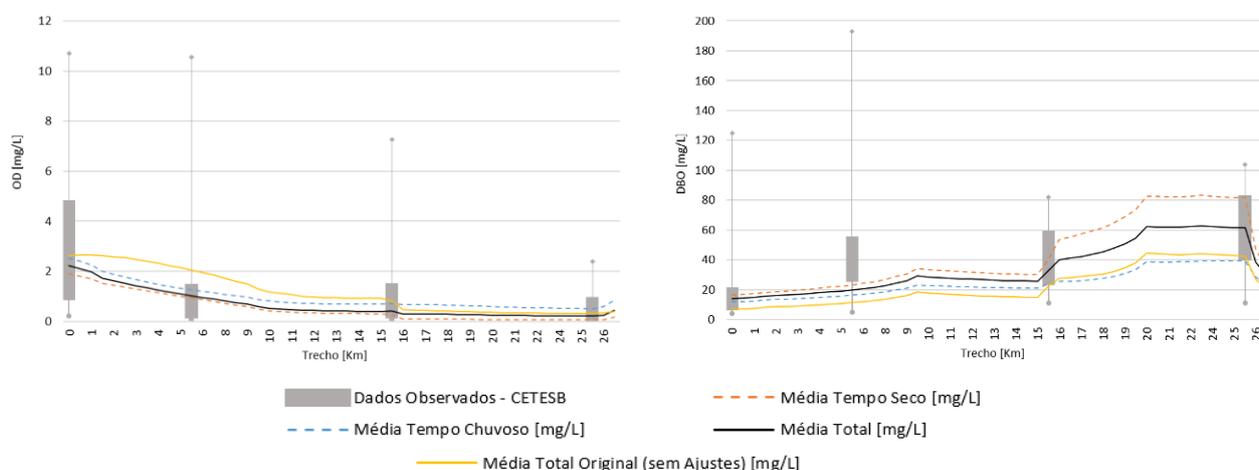


Figura 4 – Ajustes do cenário da Situação Atual (2018) com dados observados de OD (2010 – 2014) e DBO (2010 – 2018) da CETESB. Fonte de dados: SABESP, 2019

- **Resultados das simulações dos cenários:**

Foram realizadas simulações no modelo hidrodinâmico com intervalo de tempo diário, utilizando o software HEC-RAS para os diversos cenários previamente definidos. Desta forma, foi feita a integração do modelo de bacias hidrográficas ao modelo de qualidade da água para simulação da qualidade da água e análise dos constituintes DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e OD (Oxigênio Dissolvido).

Como referência, o limite mínimo de 2 mg/L de OD estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) para a Classe 4, na qual o rio Pinheiros encontra-se atualmente enquadrado, está indicado quando apresentados os resultados obtidos para este constituinte.

O Cenário 2 foi proposto para simular a situação futura da qualidade do rio Pinheiros em 2022, em caráter otimista, considerando a efetivação de todas as obras estruturantes e ações operacionais propostas pela SABESP, o que caracterizaria coleta de aproximadamente 93% do esgoto gerado na bacia do rio Pinheiros,

com 100% do coletado sendo encaminhado para tratamento. Além disso, também foi considerada a instalação das URQs para redução de carga orgânica das áreas irregulares nos principais córregos afluentes ao rio Pinheiros.

Os resultados das simulações com a média anual de OD e DBO dos cenários simulados para o perfil longitudinal do rio Pinheiros são mostrados na Figura 5.

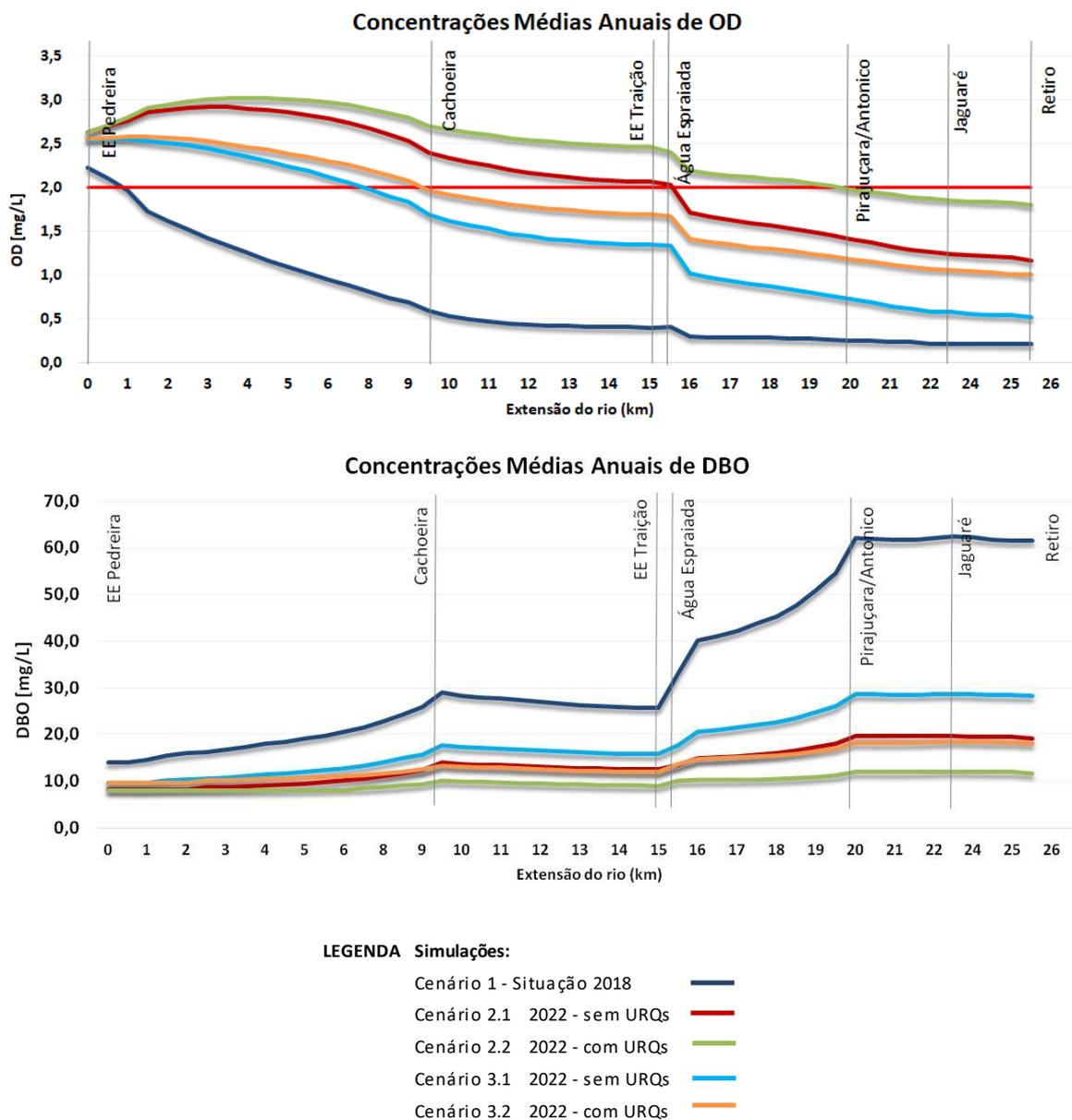


Figura 5 – Concentrações Médias Anuais de OD e DBO ao longo do rio Pinheiros para os diferentes cenários simulados. Fonte de dados: SABESP, 2019

Visto que o modelo construído é do tipo hidrodinâmico com passo de tempo diário é possível extrair resultados individuais para cada seção do rio em cada dia de um ano hidrológico completo. Dessa maneira, é possível verificar qual porcentagem do ano cada seção esteve acima ou abaixo do limite estabelecido pela Classe 4 de OD, mesmo que a média anual apresentada esteja aderente à legislação. A Figura 6 apresenta o gráfico com os índices de conformidade de OD ao longo do rio Pinheiros para os diferentes cenários simulados.

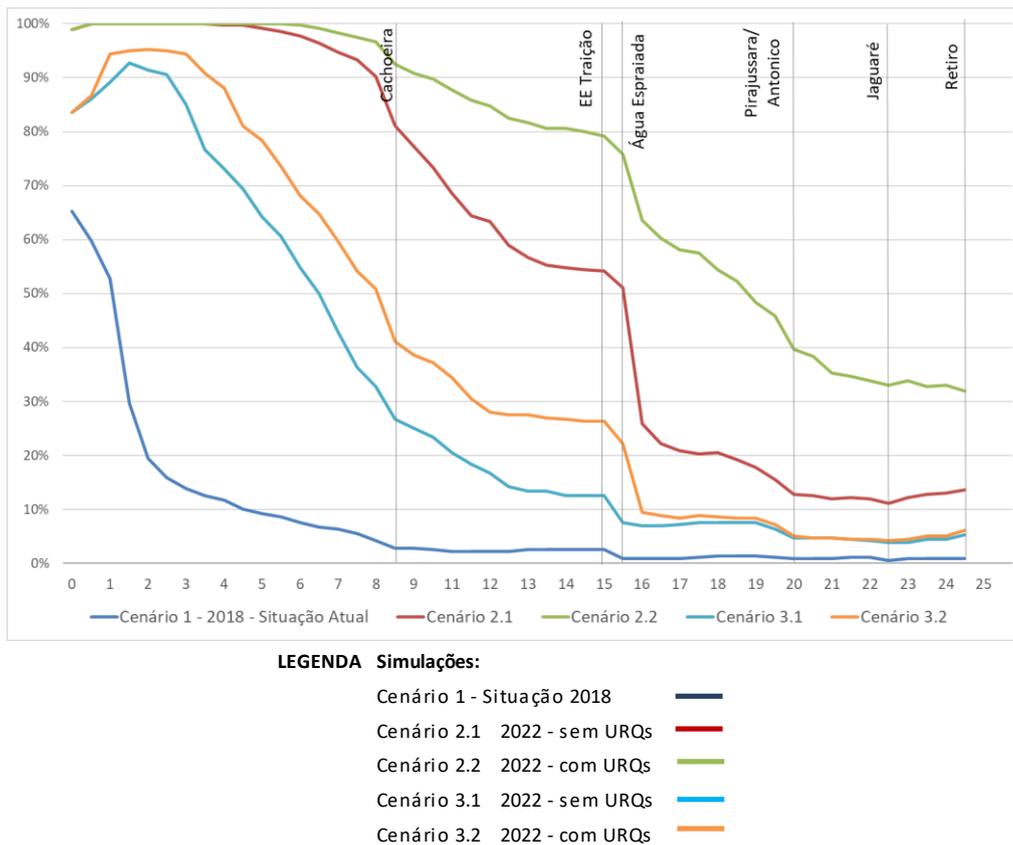


Figura 6 - Índice de Conformidade de OD ao longo do rio Pinheiros para os diferentes cenários simulados. Fonte de dados: SABESP, 2019

A partir da Figura 6 é possível observar que, apenas na situação atual, durante quase todo o ano o limite de 2 mg/L para a Classe 4 não é atendido. Já para o Cenário 2, nota-se que aproximadamente metade do ano cumpre-se o limite de OD exigido para Classe 4.

Para os Cenários 2.1 e 2.2, é notória a melhoria em todo o trecho do rio se comparado aos cenários 3.1 e 3.2, mas após a Usina de Traição e a entrada da bacia do rio Pirajussara, a porcentagem de atendimento à Classe cai bruscamente nesses cenários. Isso demonstra que, mesmo com a universalização da coleta e tratamento do esgoto na bacia do rio Pinheiros, a modelagem demonstrou que o rio pode apresentar trechos com OD abaixo de 2 mg/L por mais da metade do ano, exigindo soluções alternativas e integradas entre todas as partes interessadas para solucionar essa questão.

Nos cenários 2.1 e 2.2 é notória a diferença entre as simulações considerando a implantação das URQs e a não implantação das mesmas, sendo que em Retiro, a conformidade para OD passa de 13% para 32%, sem e com URQs, respectivamente. O mesmo não ocorre para os Cenários 3.1 e 3.2, considerando efetividade de 90% das obras previstas, ficando os cenários sem e com URQs praticamente com os mesmos valores a partir da entrada do córrego Pirajussara até Retiro.

Na Figura 7 são apresentados os resultados temporais das simulações nos pontos a jusante do lançamento dos córregos Pirajussara (Canal Inferior) e Cachoeira (Canal Superior) no rio Pinheiros, para os parâmetros de OD e DBO. Os gráficos mostram com clareza a melhoria de qualidade da água no cenário futuro.

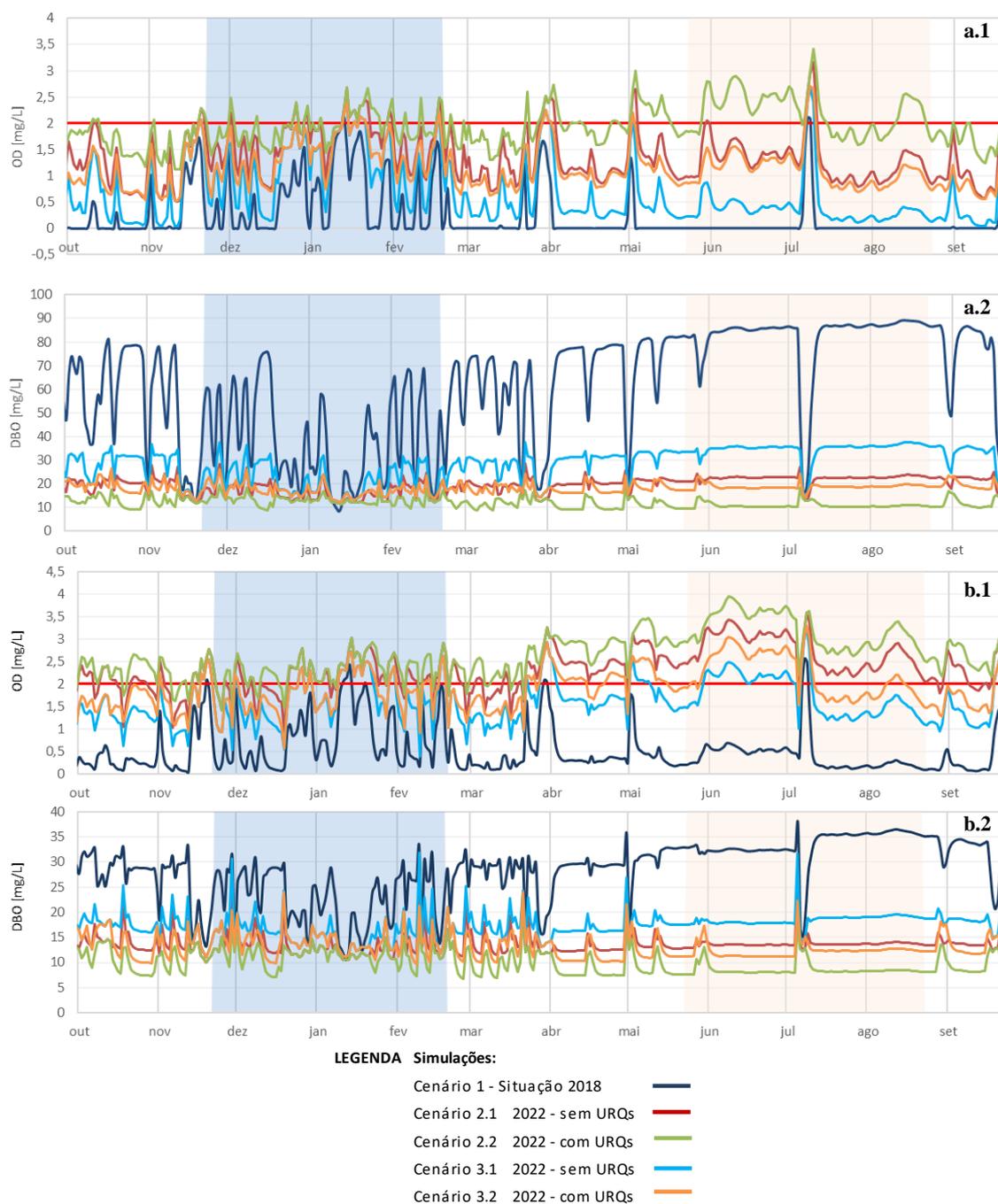


Figura 7 – Resultados temporais das simulações nos pontos a jusante do lançamento dos Córregos Pirajuçara (a) e Cachoeira (b) no rio Pinheiros, para os parâmetros de OD (a.1 e b.1) e DBO (a.2 e b.2).
Fonte de dados: SABESP, 2019

Na figura 7 é possível notar que as condições atuais de qualidade no ponto a jusante do córrego Pirajuçara são muito piores do que no ponto a jusante do córrego Cachoeira, ou seja, a qualidade das águas no Canal Inferior é pior, com maiores valores de DBO e menores de OD, que no Canal Superior. Após as obras, no Cenário 2.2 as condições de OD melhoram consideravelmente, evidenciando que não haverá condições de anaerobiose, com OD variando entre 1 e 4 mg/L ao longo do rio Pinheiros. No entanto, ainda poderá haver períodos em que o OD não atingirá o padrão de classe do CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), de 2 mg/L.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:

Considerado os objetivos propostos e todas as premissas da metodologia científica utilizada na modelagem da qualidade das águas do rio Pinheiros, as principais conclusões são:

- Para os Cenários 2.1 e 2.2, é notória a melhoria da qualidade das águas, em todo o rio Pinheiros, se comparado ao cenário atual.
- Os resultados do Cenário 3 evidenciam a necessidade do cumprimento das metas de atendimento para 2022 com as obras estruturantes e operacionais. Sem isso haverá um ganho menor na qualidade do rio Pinheiros, mesmo com a implantação das URQs.
- Mesmo no cenário mais otimista, Cenário 2.2, o rio Pinheiros pode apresentar trechos com OD abaixo de 2 mg/L por mais da metade do ano. Na média do ano, o índice de conformidade passa de 80% em Traição para 32% em Retiro.
- Como resultado dos Cenários 2.1 e 2.2., para as sub bacias do Morro do “S”, Água Espriada, Pirajuçara e Jaguaré é evidente a diferença entre os cenários com e sem URQ, ressaltando o ganho no índice de conformidade de OD com a implantação das mesmas. Por exemplo, em Retiro, a conformidade para OD passa de 13% para 32%, sem e com URQs, respectivamente.

Desta forma, fica evidente a melhora da qualidade das águas do rio Pinheiros após a efetivação das obras da Sabesp e o aumento do índice de coleta e tratamento dos esgotos sanitários. Há que se notar que os índices já são altos, mas em função de toda a ocupação irregular que se mantém nesta bacia, muitos esforços deverão ser impressos nestas regiões para que seja possível o atendimento das metas pré-estabelecidas para 2022.

Os resultados da modelagem mostram que mesmo nos cenários futuros mais otimistas (Cenários 2.1 e 2.2) o rio irá apresentar OD inferior a 2 mg/L por um período ao longo do ano evidenciando a necessidade de intervenções não convencionais no rio Pinheiros. Ou seja, exigindo soluções alternativas e integradas entre todas as Partes Interessadas para solucionar o problema da qualidade das águas do rio Pinheiros. Desta maneira, ações de injeção de oxigênio dissolvido diretamente no rio Pinheiros ou nos seus afluentes podem se tornar soluções para o problema. Assim, recomendam-se estudos mais aprofundados com o objetivo de confirmar este prognóstico e avaliar maneiras de equacionar o problema.

Este trabalho é baseado no Relatório de fontes de poluição e qualidade da água do rio Pinheiros – RQPI – Rev.02 (SABESP, 2019), desenvolvido no âmbito do PLAMTE, que está em andamento na Sabesp, no qual estão envolvidos o Departamento de Concepção e Soluções de Engenharia para Empreendimentos - TEC e o Departamento De Planejamento Técnico – PIT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAPTISTELLI, S.C. Análise Crítica da Utilização de Modelagem Matemática na Avaliação da Dispersão de Efluentes Leves no Litoral da Baixada Santista (Estado de São Paulo). Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.
2. BRASIL. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2005.
3. CHRISTOFOLETTI A. Modelagem de sistemas ambientais. 1ª Edição. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 1999
4. ROSMAN. P.C.C. Referência Técnica do SisBaHia – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2010.
5. VON SPERLING, Marcos. Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios. Vol. 7. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. UFMG. 2007.

6. SABESP. Relatório de Simulações da Bacia do rio Pinheiros – RSPI – Rev. 2, desenvolvido no âmbito do PLAMTE – Plano de Modernização do Tratamento de Esgoto na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, 2019.
7. 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.