

## IV-156 - AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TIETÊ

**Maria Mercedes Buzzella** <sup>(1)</sup>

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade de Buenos Aires. Mestre em Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos pela Leibniz Universität Hannover. Especialista em Recursos Hídricos na CH2M.

**Matheus Guilherme Ramin**

Engenheiro Ambiental e Urbano pelo Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do ABC (UFABC). Engenheiro Ambiental na CH2M.

**Ana Carolina Guimarães Antunes**

Engenheira Ambiental pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Engenheira Ambiental na CH2M.

**Patrícia Pamplona de Oliveira Guimarães**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Engenheira na Sabesp.

**Silvio Leifert**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Superintendente da Gestão de Empreendimentos (TE) na Sabesp.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua do Rócio, 351, 1º Andar – Vila Olímpia – São Paulo – SP – CEP: 04552-000 – Brasil – Tel: (11) 3040-0800 – e-mail: [mercedes.buzzella@ch2m.com.br](mailto:mercedes.buzzella@ch2m.com.br)

### RESUMO

Resultados do monitoramento de qualidade do rio Tietê, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), têm indicado consistentemente a má qualidade da água. As cargas de poluentes no rio são originadas de diferentes fontes, incluindo descargas de esgoto (tratado ou não tratado), poluição difusa carregada pelo escoamento superficial, urbano e rural, e descartes industriais. A partir disso, com o objetivo de determinar as alternativas mais eficientes e eficazes de tratamento de efluentes nas cinco maiores estações de tratamento de esgoto (ETE) do Sistema Principal de Esgoto da RMSP, um sistema de modelagem com um Modelo de Corpo Receptor unidimensional contínuo e com passo de tempo diário, vinculado a um Modelo de Bacias Hidrográficas, foi utilizado para simular a evolução da qualidade da água, ditada pelas concentrações dos constituintes OD, DBO, nitrogênio amoniacal (N Amoniacal) e fósforo total (PT) da situação atual (ano base 2010) até 2040.

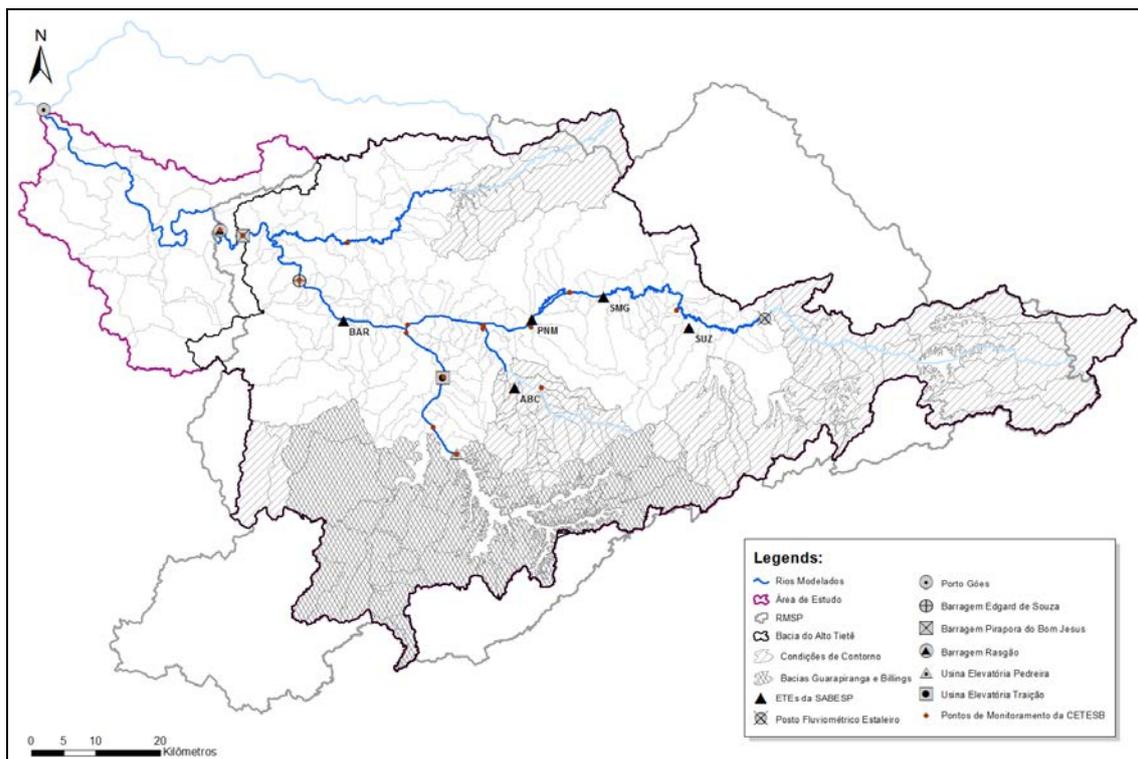
Diversas simulações foram realizadas combinando cenários futuros tendenciais e otimistas das diferentes fontes de poluição e das cinco ETEs, a fim de auxiliar o processo de tomada de decisões durante o estabelecimento da sequência de ações e investimentos de cada ETE. Das simulações realizadas, evidenciou-se a necessidade de remoção de nutrientes por parte das ETEs. Mesmos assim, no trecho enquadrado na Classe 2 para o PT, a conformidade em todas as simulações realizadas é nula. De forma geral, observou-se que o constituinte NO<sub>3</sub> é atendido em 100% do tempo nos trechos enquadrados na Classe 3 e na Classe 2, fato que se deve às características adotadas para o efluente tratado nos cenários tendencial e otimista. A E. coli mostrou-se um constituinte difícil de ser ajustado em relação às cargas, muito devido à elevada variabilidade nas medições utilizadas para a calibração, assim como a baixa frequência das mesmas. Para que a ETE Suzano atenda os limites da Classe 3 do rio Tietê, deve assumir as concentrações do Cenário Otimista. Também observou-se que a ETE Parque Novo Mundo, no trecho em Classe 4, tem impacto superior ao observado para as ETEs São Miguel e ABC. No entanto, vê-se a necessidade de aumentar a concentração de OD para que a ETE ABC atenda aos limites de OD da Classe 4 no rio Tamanduateí. Já no trecho em Classe 2, observou-se que o cenário plenamente tendencial já apresenta atendimento das concentrações de DBO superior a 50% do tempo, muito devido ao grande impacto da ETE Barueri. Desta maneira, pode-se avaliar, por meio de simulações adicionais, a possibilidade de combinar alternativas tendenciais e otimistas entre as ETEs e verificar seu impacto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem, qualidade da água, tratamento de esgoto, RMSP, gestão integrada.

## INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Resultados do monitoramento do rio Tietê, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), têm indicado consistentemente a má qualidade da água, associada a baixas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e altas concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nutrientes e bactérias (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015). As cargas de poluentes no rio são originadas de diferentes fontes, incluindo descargas de esgoto (tratado ou não tratado), poluição difusa carregada pelo escoamento superficial urbano e rural e descartes industriais.

A partir disso, um estudo está sendo desenvolvido para realizar uma avaliação extensiva das cargas geradas na área de estudo e os seus efeitos na qualidade do rio através de um Modelo Matemático de Qualidade da Água (MMQA). A área de estudo, apresentada na **Figura 1**, inclui a bacia do Alto Tietê e uma porção da bacia do Médio Tietê. A extensão do rio Tietê desde a condição de contorno a montante até o ponto na final da área de estudo é de 210 km. O domínio do modelo inclui os componentes fluviais da bacia hidrográfica, tratando os reservatórios das cabeceiras, quando pertinente, como condições de contorno e os reservatórios no curso do rio como seções largas do canal.



**Figura 1: Área de estudo e domínio do modelo.**

O planejamento das ações deve estar baseado na legislação brasileira relacionada ao uso de recursos hídricos. De forma geral, estas leis definem quais os limites máximos para concentração de determinados constituintes que podem ser descartados nos corpos hídricos. Além disso, definem também qual é a qualidade da água requerida em um corpo hídrico dependendo de seu enquadramento. Entre as principais leis utilizadas como referência estão:

- Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA – nº 357/2005, que 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;
- Resolução CONAMA nº 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005;
- Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977, que dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas.

- Decreto Estadual nº 8468, de 8 de setembro de 1976, que aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente.

O objetivo desta avaliação é contribuir com o processo de decisão para o estabelecimento da sequência de ações e investimentos que visam a melhoria da qualidade do rio através da identificação e quantificação de diversas fontes de poluição e determinação das alternativas mais eficientes e eficazes de tratamento de efluentes nas cinco maiores estações de tratamento de esgoto (ETE) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) na RMSP.

## METODOLOGIA

Um sistema de modelagem com um Modelo de Corpo Receptor unidimensional contínuo e com passo de tempo diário, vinculado a um Modelo de Bacias Hidrográficas, foi utilizado para simular as condições hidráulicas, as descargas de poluentes e os processos biofísico-químicos no rio para identificar os impactos das cargas de esgoto (tratado e não tratado), de indústrias e difusas. Com isso, foi possível realizar uma avaliação da frequência, duração e extensão das condições de qualidade da água no rio, associadas ao atendimento de metas ambientais estabelecidas pela legislação. Estas regulações enquadram os rios em classes de qualidade, sendo o rio Tietê enquadrado na Classe 3 do início da área do modelo até a confluência com o rio Itaquera, onde passa a ser enquadrado na Classe 4, trecho que se estende por quase 80 km na porção altamente urbanizada da região. Após a transição da área urbana para a região rural, a jusante da barragem do reservatório de Pirapora do Bom Jesus, o rio muda para Classe 2, que possui limites de qualidade mais restritivos (SÃO PAULO, 1977) (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2005).

Uma vez que o Modelo de Corpo Receptor utiliza os resultados do Modelo de Bacias Hidrográficas como dados de entrada, os recursos deste seguiram as exigências daquele. Com base nos objetivos do projeto, buscou-se ferramentas de modelagem que fossem bem desenvolvidas, comumente utilizadas e capazes de simular OD, DBO, nutrientes e bactérias em níveis espacial e temporal apropriados à quantidade de dados disponíveis e às questões a serem respondidas. Além disso, o Modelo de Bacias Hidrográficas deveria ter a capacidade de representar a complexidade dos usos do solo e os diferentes padrões socioeconômicos da RMSP.

Assim, um sistema integrado do *Storm Water Management Model (SWMM5)* e do *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS)* foi desenvolvido para calcular a hidrologia da bacia hidrográfica e as cargas de poluentes do sistema, assim como o transporte de poluentes e a resposta da qualidade da água no rio. Os rios modelados no modelo de corpo receptor foram o Tietê, Pinheiros, Tamanduateí e Juqueri, seguindo os limites e condições de contorno apresentados na **Figura 1**. A calibração da qualidade da água foi baseada nas medições bimestrais realizadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em pontos de monitoramento estratégicos no rio Tietê e seus principais afluentes, conforme indicado na **Figura 1**. A falta de dados mais frequentes exigiu que a calibração fosse baseada em dados históricos estatísticos e critérios visuais. Além disso, as corredeiras naturais observadas no trecho do Médio Tietê foram consideradas através da injeção de OD conforme notou-se a necessidade de representar a reaeração causada pelas corredeiras.

O modelo HEC-RAS tem a particularidade de calcular, para cada célula, as concentrações diárias de cada um dos nove constituintes de qualidade da água simulados (OD, DBO, Nitrogênio Orgânico – N Org, Nitrogênio Amoniacal – N Amoniacal, Nitrato – NO<sub>2</sub>, Nitrito – NO<sub>3</sub>, Fósforo Orgânico – P Org, Fosfato – PO<sub>4</sub> e *E. coli*), além de calcular as correspondentes vazões diárias em cada uma das seções. Diferente de outras modelagens de qualidade da água já realizadas na RMSP, o modelo utilizado neste estudo realiza simulações para as diferentes combinações de cenários de poluição em um ano completo, sendo possível observar as variações sazonais. A fim de identificar o grau de aderência à classe para uma determinada seção ou trecho, puderam ser estabelecidos índices de conformidade ao longo de um determinado ano.

As fontes de poluição foram divididas em 5 categorias, separadas entre fontes pontuais e não pontuais, conforme apresentado na **Figura 2**. Para este estudo, foram considerados como fontes não pontuais o esgoto não tratado, a poluição difusa e os descartes industriais e de ETES de Sistemas Isolados e MNOs que ocorrem em corpos d'água internos das sub-bacias da área de estudo (e não diretamente nos rios modelados pelo Modelo de Corpo Receptor). As fontes pontuais incluem o esgoto tratado pelas 5 ETES do Sistema Principal

de esgotamento sanitário da Sabesp e os descartes industriais que ocorrem diretamente em algum dos trechos dos rios modelados no HEC-RAS.

As cargas afluentes consideram a soma de todas estas fontes de poluição que atingem de forma direta (pontual) ou indireta (não pontual) os corpos receptores modelados. Desta maneira, para esta análise, não foram consideradas as cargas afluentes originadas nas Bacias Guarapiranga e Billings, uma vez que elas não aportam ao rio Pinheiros.

É importante ressaltar que a categoria “Esgoto nas áreas de concessão da Sabesp” considera tanto o esgoto não encaminhado para tratamento quanto os descartes das ETEs dos Sistemas Isolados operados pela Sabesp e, no caso da categoria “Esgoto nas áreas de concessão dos MNO”, considera-se o esgoto não encaminhado para tratamento e os descartes das ETEs operadas pelos MNO.



**Figura 2: Esquema das fontes de poluição e a sua vinculação com os modelos utilizados.**

Foram desenvolvidos cenários de controle de poluição Tendencial e Otimista para cada fonte poluente e para cada uma das ETEs do Sistema Principal considerando melhorias nos seus processos de tratamento, expansão do sistema de coleta e tratamento de esgoto, crescimento urbano e populacional e mudanças nas descargas industriais até ano de 2040, horizonte do projeto.

Na Tabela 1, são apresentadas, de maneira resumida, as principais premissas estabelecidas para as diferentes fontes de poluição nos Cenários Tendencial e Otimista.

**Tabela 1: Principais premissas estabelecidas para as diferentes fontes de poluição**

FONTES DE POLUIÇÃO	TÓPICO	CENÁRIO OTIMISTA	CENÁRIO TENDENCIAL
Esgoto	Tratamento	Implantação progressiva de Tratamento Terciário e Limite da tecnologia para as principais ETES.	Baseado no PDE-10 e conforme diretrizes nos Planos Diretores dos MNO
	Universalização	2025 para os sistemas Sabesp (dados Sabesp) e, para os Municípios Não Operados pela Sabesp (MNO), seguidas diretrizes estabelecidas nos Planos Diretores.	5 anos após o considerado no cenário otimista.
Poluição Industrial	Vazão de Efluente	Reduz-se o número de indústrias com descarte direto – maioria das indústrias conectadas ao sistema de esgotamento (redução de 3% da vazão anual).	Número de indústrias conectadas ao sistema de esgotamento da Sabesp permanece constante (redução de 2% da vazão anual).
	Qualidade do Efluente	Atendimento do enquadramento na Classe 3.	Limitação de descartes estabelecidos na legislação atual.
Poluição Difusa	Usos do Solo	Adensamento populacional.	Crescimento populacional desordenado.
	Qualidade do Efluente	30% do escoamento superficial será tratado através de medidas de mitigação nas bacias com piscinões e área pública disponível.	Sem medidas de mitigação.

A poluição difusa foi calculada através das Concentrações Médias de Evento (CMEs), que refletem as atividades particulares de cada uso do solo sem a interferência de outras fontes de poluição (como o esgoto não tratado). Vinte e três usos do solo foram identificados na área de estudo: doze para áreas urbanas e onze para áreas rurais. As CMEs e as concentrações de esgoto não tratado foram inicialmente estabelecidas com base na literatura, majoritariamente internacional, e, posteriormente, ajustadas durante o processo de calibração.

Os cenários de esgoto do Sistema Principal consideraram tanto a universalização, com 95% de coleta e 100% de tratamento do esgoto coletado, quanto a modernização das ETES através da implantação de novas tecnologias de tratamento no Cenário Otimista, que serão definidas em função da qualidade do efluente a ser considerada. A fim de avaliar as estratégias de controle de poluição mais efetivas e eficientes, foi considerada a implantação de tratamento terciário, com remoção de nutrientes, no Cenário Otimista das ETES, enquanto o Cenário Tendencial considerou tratamento secundário convencional, aplicando coeficientes de remoção aos diferentes constituintes. As cinco maiores ETES do Sistema Principal de Esgoto da RMSP, assim como suas capacidades de tratamento, atuais e futuras, e as concentrações médias do efluente tratado estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2: Capacidades e concentrações atuais e futuras do efluente tratado nas cinco ETES do Sistema Principal da RMSP**

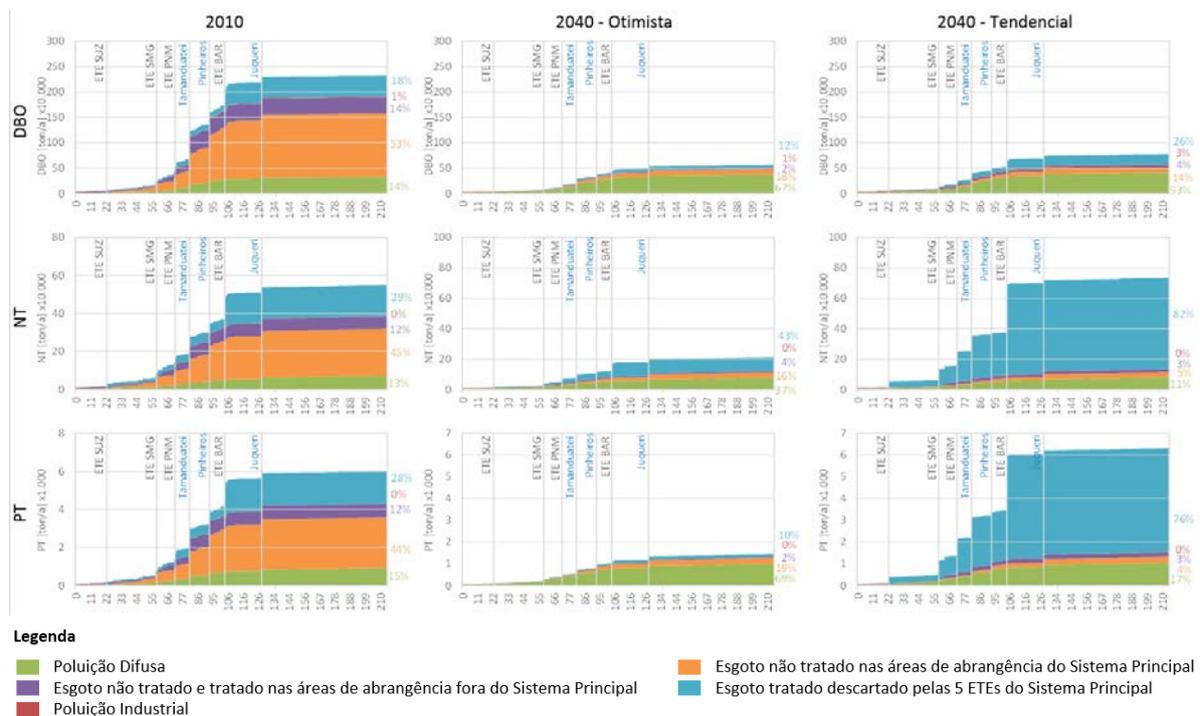
ETE	Capacidade [m <sup>3</sup> /s]		Concentrações de Qualidade [mg/L]														
	Atual (2010)	2040	Atual (2010)					2040 Otimista					2040 Tendencial				
			OD	DBO	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	PT	OD	DBO	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	PT	OD	DBO	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	PT
ABC	1,8	6,4	0	36	13,1	3,3	1,1	1	5	0,5	4,5	0,1	0	14	8,9	0,4	1,5
BAR	9,7	24,3	0	99	18,7	2,0	3,9	1	5	0,5	4,5	0,1	0	15	8,6	0,4	1,4
PNM	2,5	6,3	0	81	11,2	7,8	3,8	1	5	0,5	4,5	0,1	0	15	9,1	0,4	1,6
SMG	0,8	4,7	0	53	18,7	3,4	3,0	1	5	0,5	4,5	0,1	0	16	10,0	0,5	1,7
SUZ	1,0	2,4	0	47	43,8	0,2	2,4	1	5	0,5	4,5	0,1	0	15	11,0	0,5	1,6

Nota: BAR – Barueri, PNM – Parque Novo Mundo, SMG – São Miguel, SUZ – Suzano

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado desta avaliação, as cargas afluentes foram quantificadas individualmente para cada fonte de poluição, possibilitando a simulação da qualidade da água do rio nas situações atuais e futuras e nos diferentes cenários de coleta e tratamento de esgoto, expansão urbana e descargas industriais. A **Figura 3** apresenta a carga afluente originada na área de estudo ao longo do rio Tietê para os cenários Atual (2010), Plenamente Otimista e Plenamente Tendencial (ambos para 2040), para os constituintes DBO, Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (PT). Nota-se que a Poluição Industrial possui uma influência pouco significativa. A carga de Poluição Difusa manteve-se quase constante ao longo dos anos. Desta maneira, no cenário Plenamente Otimista, devido à redução da carga total, sua influência aumenta para os três constituintes, passando a ser a fonte de maior aporte de carga de DBO e PT no rio. Esta consideração repete-se para a DBO do cenário Plenamente Tendencial. No entanto, para o NT e PT, como a carga afluente total está ligeiramente maior em comparação a 2010, a influência destes constituintes da Poluição Difusa manteve-se praticamente constante. Além disto, observa-se que a carga de NT e PT aumenta no cenário Plenamente Tendencial em comparação ao cenário Plenamente Otimista, visto que o tratamento de esgotos a nível secundário (Plenamente Tendencial) não prevê a remoção destes nutrientes e, à medida que o esgoto é coletado, mais carga chega ao rio.

A calibração do modelo foi dividida em duas partes: a primeira, contemplando toda a região a montante da barragem de Rasgão, na Bacia do Alto Tietê, e a segunda, o trecho do Médio Tietê, imediatamente a jusante de Rasgão. Esta abordagem foi implementada considerando que a última estação de monitoramento de vazão e qualidade da água disponível dentro da área de estudo encontra-se na barragem de Rasgão. Para o trecho do rio Tietê a jusante da barragem de Rasgão e até a montante da foz do rio Jundiáí, foram estabelecidas algumas premissas a fim de quantificar as vazões e a qualidade da água no trecho do Médio Tietê em função das observações de qualidade no ponto da CETESB na estrada do Açúcar (TIET02350), a jusante da descarga da barragem de Porto Góes.



**Figura 3: Carga anual gerada pelas diferentes fontes de poluição na área de trabalho**

Na Calibração da Qualidade da Água, como os postos de amostragem de qualidade na área de estudo apresentam medições bimestrais, não puderam ser estabelecidas métricas de calibração como no caso do escoamento em regime transitório. Consequentemente, foram utilizadas avaliações visuais para aferir a precisão do modelo, sendo o objetivo da calibração da qualidade da água representar as tendências em tempo seco e chuvoso observadas nos postos de amostragem. Para isso, pontos estratégicos ao longo dos corpos receptores foram avaliados simultaneamente, a fim de se estabelecer o conjunto de parâmetros que melhor representasse o comportamento da qualidade da água. Em geral, observou-se uma aderência às tendências

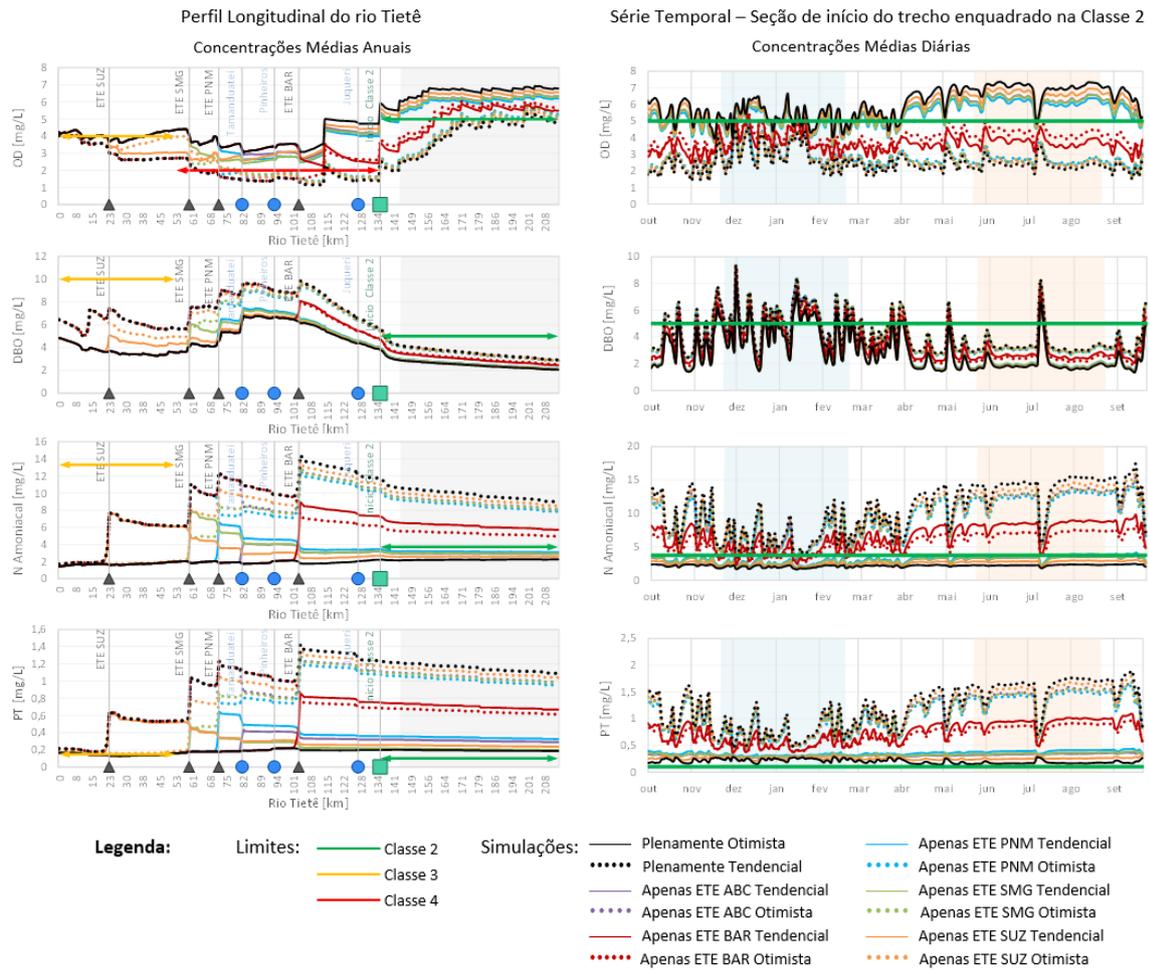
observadas nos pontos de monitoramento tanto em tempo seco e chuvoso como na média total ao longo do ano e uma correta representação da ordem de grandeza dos valores simulados com relação aos observados.

Ao se analisar os resultados do MMQA, sempre deve-se levar em consideração que eles são resultantes das cargas afluentes aplicadas no modelo, estabelecidas com base em premissas e ajustadas durante o processo de calibração. Estas premissas foram estabelecidas 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. Em alguns casos, como para as CMEs, as premissas foram estabelecidas com base em literatura internacional, uma vez que há escassa disponibilidade de informações locais específicas de CMEs, e em função de valores médios conservadores. Observou-se que, em grande parte dos estudos brasileiros revisados, as amostras de água analisadas foram coletadas diretamente dos rios, que recebem lançamento direto de esgoto não tratado. Além disso, os dados disponíveis para a calibração foram suficientes apenas para estabelecer tendências sazonais e médias nos diferentes pontos monitorados bimestralmente. Desta maneira, os resultados obtidos no MMQA devem ser considerados apenas pela sua ordem de grandeza, sempre lembrando o foco de planejamento estratégico do estudo.

A evolução da qualidade da água, ditada pelas concentrações dos constituintes modelados, foi avaliada para diferentes cenários desde a situação atual (2010) até 2040. A **Figura 4** apresenta os perfis longitudinais das concentrações médias anuais dos constituintes, onde é possível notar a evolução da qualidade da água do rio em toda sua extensão para os diferentes cenários simulados.

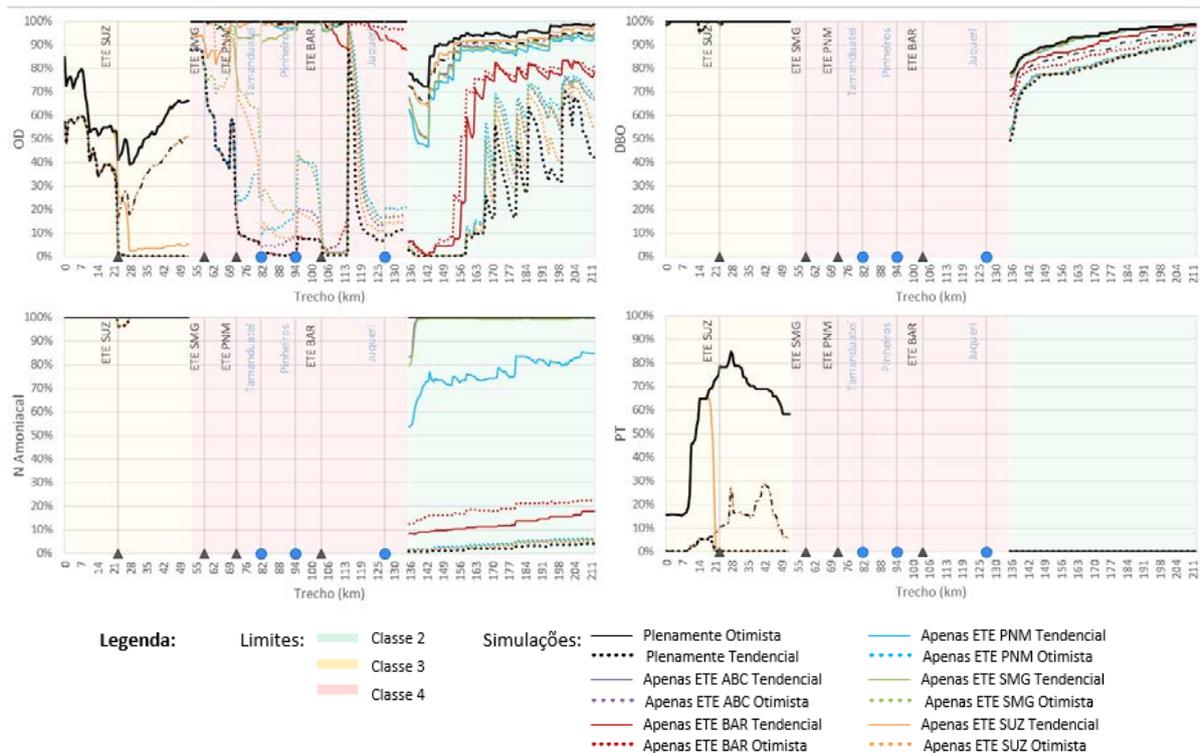
Na **Figura 4** estão apresentadas também, à direita, as séries temporais de concentração diária de OD, DBO, N Amoniacal e PT na seção de início do trecho enquadrado na Classe 2, região de interesse para os objetivos do estudo, onde nota-se o impacto das fontes de poluição em diferentes épocas do ano.

A relevância de coletar e tratar propriamente o esgoto em termos da matéria orgânica é inquestionável (vide resultados da carga de DBO gerada e a resposta nas concentrações do constituinte no rio), entretanto, o tratamento secundário convencional, considerado nos cenários tendenciais, não é suficiente para atender os limites de qualidade esperados para outros constituintes, como N Amoniacal e PT. Das simulações no Cenário Plenamente Tendencial, observou-se que sem a remoção de nutrientes, a geração de carga destes constituintes tende a aumentar mesmo com a universalização do sistema de esgoto, visto que a população aumenta ao longo dos anos. Os limites destes constituintes são atendidos acima da expectativa apenas quando tratamentos avançados com remoção de nutrientes são considerados (cenários otimistas), o que condiciona a possibilidade de associar alternativas convencionais e inovadoras entre as cinco ETEs do Sistema Principal de Esgoto da RMSP.



**Figura 4: Resultados da modelagem para os cenários otimistas e tendenciais em 2040**

Para auxiliar a avaliação da qualidade da água do rio Tietê, foram calculados, também, índices de conformidade para os constituintes regulados pela legislação de enquadramento. Estes índices indicam a quantidade de dias em um ano em que o trecho atendeu os limites da Classe em que está enquadrado. A **Figura 5** apresenta os índices de conformidade, em porcentagem, para OD, DBO, N Amomiacal e PT ao longo do rio Tietê para o ano de 2040.



**Figura 5: Índices de conformidade longitudinais**

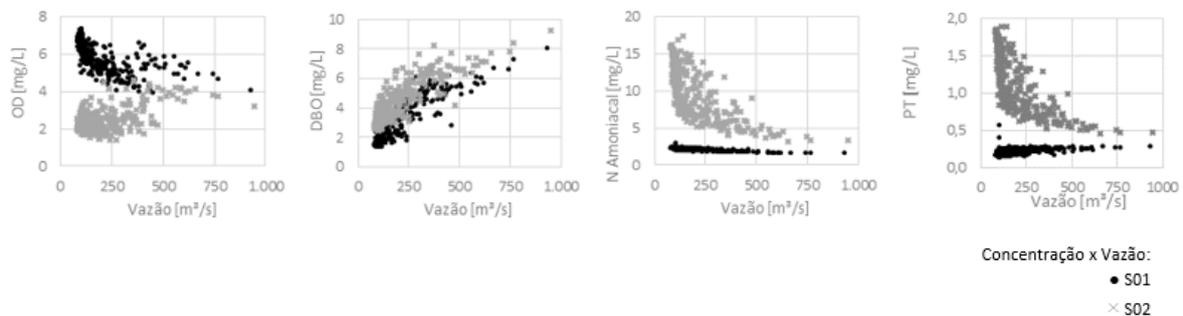
Conforme mencionado anteriormente, o trecho do rio Tietê modelado é enquadrado nas Classes 3 (a montante), 4 (no trecho urbano) e 2 (a jusante), que possuem diferentes padrões de qualidade a serem atendidos. O OD é o único constituinte regulado para todas as Classes, enquanto os outros constituintes analisados possuem limites apenas para Classes 2 e 3 (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2005). No trecho enquadrado na Classe 3, nota-se que o OD possui uma conformidade próxima de 60%, mesmo nos cenários onde a maior parte das fontes de poluição e ETEs estão na situação Otimista (indicado pelas linhas contínuas). Nos cenários onde a maior parte das fontes está na condição Tendencial (linhas tracejadas), o resultado para OD é ligeiramente pior, com cenários chegando a índices de conformidade próximos da nulidade. No trecho enquadrado na Classe 4, o limite mínimo de OD é atendido com mais de 90% de conformidade em quase todo o trecho nos cenários com apenas uma fonte tendencial. Nos cenários majoritariamente tendenciais, este índice cai significativamente, ficando muitas vezes abaixo de 10% e voltando a subir apenas no trecho enquadrado na Classe 2 (já no Médio Tietê), onde as corredeiras naturais ao longo do rio favorecem a reaeração da água. Em contrapartida, como os limites da Classe 2 são mais restritivos, o índice de atendimento nos cenários otimistas é relativamente menor que no trecho enquadrado na Classe 4, mas ainda assim acima de 80% em quase toda a extensão final.

Os limites de DBO são completamente atendidos em quase 100% do tempo no trecho enquadrado na Classe 3, com variações mínimas, mas mantendo índices sempre acima dos 95% de conformidade. No trecho enquadrado na Classe 2, os índices ficam sempre acima dos 50%, e melhoram conforme o rio distancia-se da área urbanizada.

Para o N Amoniacal, os limites são atendidos plenamente apenas no trecho enquadrado na Classe 3. Já no trecho enquadrado na Classe 2, destaque pode ser dado para as ETEs Parque Novo Mundo (linhas azuis) e Barueri (linhas vermelhas), cujas influências podem ser facilmente notadas, visto que seu impacto direto no rio Tietê no futuro deve ser bastante significativo. Os cenários tendenciais, que não consideram implantação de tratamento terciário nas ETEs e, conseqüentemente, possuem uma remoção de nutrientes irrisória, apresenta índices de conformidade praticamente nulos para este constituinte. Finalmente quanto ao PT, seus limites são atendidos, em partes, apenas em alguns trechos na região enquadrada na Classe 3, enquanto no trecho em Classe 2 os limites deste constituinte não são atendidos em nenhum momento do ano e em nenhum cenário.

Para entender a influência e tendências em tempo seco ou chuvoso das diferentes simulações nos constituintes de qualidade da água, as vazões foram correlacionadas às concentrações calculadas durante a modelagem. Na

**Figura 6**, estão apresentados os resultados obtidos nas simulações de 2040 para o OD, DBO, N Amoniacal e PT, para a seção onde se inicia o trecho enquadrado na Classe 2, comparados com as vazões simuladas nessa mesma seção. Observou-se que as concentrações de OD em tempo seco no Cenário Otimista (S01) são superiores às do tempo chuvoso, enfatizando que as ETEs melhoram a qualidade da água. De maneira oposta, no Cenário Tendencial (S02), as ETEs fazem com que as concentrações de OD diminuam em tempo seco e aumentem no tempo chuvoso, fato semelhante ao que ocorre atualmente. Por outro lado, no Cenário Otimista (S01) e no Cenário Tendencial (S02), as concentrações de DBO em tempo seco são inferiores às do tempo chuvoso, enfatizando que a evolução do tratamento de esgoto melhora significativamente a qualidade da água com relação ao constituinte DBO. Já para N Amoniacal e PT, os gráficos mostram que, no Cenário Otimista (S01) e no Cenário Tendencial (S02), em tempo seco, as concentrações são superiores às observadas no tempo chuvoso, sendo este efeito mais evidente na S02 devido aos grandes aportes de carga por parte das ETEs.



**Figura 6: Correlação Concentração vs. Vazão na seção de Início do Trecho Classe 2 dos constituintes de qualidade da água modelados**

## CONCLUSÕES

Pela primeira vez na RMSP, um modelo hidrodinâmico de qualidade da água está sendo usado com foco na melhoria da qualidade do rio Tietê e no entendimento dos efeitos sazonais do descarte de poluentes. Diversas simulações foram realizadas combinando cenários futuros tendenciais e otimistas das diferentes fontes de poluição e das cinco ETEs do Sistema Principal da RMSP, a fim de auxiliar o processo de tomada de decisões durante o estabelecimento da sequência de ações e investimentos de cada ETE.

Observou-se que os dados disponíveis para a calibração foram suficientes apenas para estabelecer tendências sazonais e médias nos diferentes pontos monitorados bimestralmente. Desta maneira, os resultados obtidos no MMQA devem ser considerados apenas pela sua ordem de grandeza, sempre lembrando o foco de planejamento estratégico do estudo.

Com relação às diferentes fontes de poluição, nota-se a pequena influência da Poluição Industrial tanto no Cenário Otimista como no Tendencial, para os três constituintes apresentados. A carga de Poluição Difusa manteve-se quase constante ao longo dos anos. Desta maneira, no Cenário Otimista, sua influência aumenta para três constituintes analisados (DBO, NT e PT), devido à redução da carga total. Esta consideração para a Poluição Difusa repete-se no Cenário Tendencial para a DBO. No entanto, para o NT e PT, como a carga afluyente está ligeiramente maior em comparação a 2010, a influência destes constituintes da Poluição Difusa manteve-se quase constante.

Das simulações realizadas, evidenciou-se a necessidade de remoção de nutrientes por parte das ETEs. Mesmos assim, no trecho enquadrado na Classe 2 para o PT, a conformidade em todas as simulações realizadas é nula. A *E. coli* mostrou-se um constituinte difícil de ser ajustado em relação às cargas, devido à elevada variabilidade nas medições utilizadas para a calibração, assim como a baixa frequência das mesmas.

O valor de OD estabelecido no efluente final das ETEs do sistema principal no Cenário Otimista é de 1 mg/L, sendo observado a necessidade de aumentar esta concentração para as ETEs Suzano e ABC, a fim de atender aos requerimentos da Classe 3 no rio Tietê e Classe 4 no rio Tamanduateí, respectivamente.

É importante ressaltar que a ETE Suzano descarta seu efluente no trecho enquadrado na Classe 3 do rio Tietê, sendo necessário atender a regulamentação vigente para essa classe e, por sua vez, não sendo possível assumir as concentrações adotadas no Cenário Tendencial. Combinado a este fato, a ETE Parque Novo Mundo, no trecho enquadrado na Classe 4, tem impacto superior ao observado para as ETES São Miguel e ABC.

Já no trecho enquadrado na Classe 2, observou-se que o cenário plenamente tendencial já apresenta atendimento das concentrações de DBO superior a 50% para qualquer cenário em 2040, desta maneira pode-se avaliar, por meio de simulações adicionais, a possibilidade de associar alternativas convencionais (tendenciais) e avançadas com remoção de nutrientes (otimistas) entre as cinco ETES do Sistema Principal de Esgoto da RMSP e verificar o impacto nos corpos d'água para, então, serem definitivamente estabelecidas para implantação.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Secretaria do Meio Ambiente. Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo. Parte 1 – Águas Doces. São Paulo, 2015.
2. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). 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. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. DOU n. 053, de 18 de março de 2005, p. 58-63.
3. SÃO PAULO (Estado). Decreto n. 10.755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto n. 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. DOE n. 221, de 23 de novembro de 1977, p. 1-4.