

REFLEXOS DAS MELHORIAS DO TRATAMENTO DE ESGOTO PARA A QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS: UM ESTUDO DE CASO EM MEDIANEIRA/PR

Gioce Alne Girola Berns⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental (UFSC). Bolsista no Itaipu Parquetec. Consultora Ambiental com atuação em estudos ambientais de engenharia hídrica e modelagem numérica. Servidora pública da prefeitura municipal de Florianópolis/SC.

Jéssica Froes de Brito Wendt⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Mestre em Tecnologias Ambientais. Analista Ambiental no Itaipu Parquetec.

Celso Carlos Buglione Neto⁽³⁾

Engenheiro e mestre em aquicultura.

Rafael Francis Leite⁽⁴⁾

Mestrando em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Especialista em Saneamento Ambiental, Engenheiro Eletricista, Técnico Profissional na Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar

Paulo Henrique Squinzani⁽⁵⁾

Engenheiro Ambiental do Itaipu Parquetec.

Endereço⁽¹⁾: Rua/Av. Tancredo Neves, 6731 Itaipu Parquetec - Bairro Itaipu - Foz do Iguaçu - Paraná - CEP: 85867-900 - Brasil - Tel: +55 (45) 3576-7012 - e-mail: gioceberns@gmail.com.

RESUMO

O monitoramento da qualidade da água em corpos hídricos apresenta desafios significativos devido à dificuldade de avaliar, com a frequência e precisão necessárias, as variáveis físico-químicas e biológicas essenciais para uma caracterização adequada. Diante dessa complexidade, o uso de modelos matemáticos torna-se indispensável. Essas ferramentas permitem compreender o comportamento das cargas poluidoras e seus impactos nos corpos hídricos, além de possibilitar a análise das condições atuais da bacia hidrográfica e a simulação de cenários prospectivos. Este estudo teve como objetivo avaliar os impactos das melhorias nos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) na qualidade da água da bacia do Rio Ocoy, em Medianeira/PR, com foco específico no rio Alegria, seu corpo receptor. A avaliação foi realizada por meio da comparação entre o cenário atual e o cenário futuro - após a implementação das intervenções previstas. A metodologia baseou-se na aplicação do modelo numérico DELFT-3D, que permitiu simular e analisar parâmetros críticos como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Ammoniacal e Fósforo Total. Os resultados das simulações indicaram que as intervenções previstas para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) têm potencial para melhorar significativamente a qualidade da água na bacia do Rio Ocoy. As reduções percentuais nas concentrações dos parâmetros avaliados ao longo do rio Alegria foram expressivas: 81% para o Fósforo Total, 78% para o Nitrogênio Ammoniacal e 52% para a DBO. Esses resultados sugerem a eficácia das intervenções planejadas para a ETE, evidenciando uma diminuição significativa das concentrações de poluentes no corpo hídrico após a implementação das melhorias.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de água, Autodepuração de Efluentes, Modelagem Numérica, Estação de Tratamento de Esgoto.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água em corpos hídricos está diretamente relacionada às atividades humanas, sendo o lançamento de efluentes domésticos e industriais uma das principais fontes de poluição (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023; CHAPMAN e KIMSTACH, 1996). No Brasil, os desafios para garantir um tratamento de esgoto eficiente ainda são significativos, especialmente em municípios de pequeno e médio porte, onde os sistemas de saneamento frequentemente enfrentam limitações técnicas e financeiras (SANTOS e MENDES, 2024).

A degradação da qualidade da água afeta não apenas os ecossistemas aquáticos, mas também a saúde pública e as atividades econômicas locais, como agricultura e pesca, que dependem de recursos hídricos limpos e saudáveis. Melhorias no tratamento de esgoto podem gerar benefícios ambientais significativos, como a redução da carga de nutrientes e matéria orgânica, contribuindo para a mitigação de processos como a eutrofização e

florações de algas. Neste contexto, o município de Medianeira, no estado do Paraná, busca aprimorar sua Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) com o objetivo de reduzir expressivamente a carga poluidora lançada no rio Alegria, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e a recuperação do ecossistema local, impulsionar a qualidade de vida da população, ao trazer melhorias à saúde pública e mitigar riscos associados à contaminação hídrica, e economicamente, os impactos previstos abrangem a valorização imobiliária e a redução de custos com tratamentos de água e saúde.

Para compreender a dinâmica desses processos e projetar cenários futuros, ferramentas de modelagem numérica têm se mostrado indispensáveis. Os modelos numéricos permitem simular fenômenos complexos, como o transporte de poluentes e a autodepuração de contaminantes, fornecendo subsídios para a gestão de recursos hídricos e o planejamento de intervenções. Nesse contexto, o modelo Delft3D, desenvolvido pela Delft Hydraulics (DELTARES, 2021), destaca-se como uma ferramenta robusta para integrar processos hidrodinâmicos e de qualidade da água. Amplamente utilizado em estudos nacionais e internacionais, o Delft3D tem demonstrado sua eficácia em diferentes contextos, como a análise da circulação e transporte de sedimentos no reservatório de Itaipu (GARCIA e GONÇALVES, 2011) e a avaliação da qualidade da água em ambientes costeiros e estuarinos (PEREIRA e NIENCHESKI, 2004; FERREIRA, 2015; BATISTA e HARARI, 2018; COSTA *et al.*, 2017; TESSAROLLO *et al.*, 2013).

Neste estudo, a modelagem numérica foi aplicada para avaliar os benefícios ambientais das futuras melhorias planejadas para a ETE. O foco recaiu sobre a análise da dinâmica de parâmetros de qualidade da água, como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Ammoniacal e Fósforo Total, no rio Alegria, por meio da integração de aspectos hidrodinâmicos e de dispersão para posterior avaliação dos benefícios esperados, contribuindo para o entendimento das interações entre o saneamento básico e a qualidade da água. Os resultados obtidos visam não apenas subsidiar a gestão ambiental local e regional, mas também fornecer uma base científica para orientar políticas públicas e estratégias de recuperação ambiental que beneficiem diretamente a comunidade e os setores econômicos dependentes do rio Alegria.

OBJETIVOS

Implementar modelos numéricos para simulação cenários de qualidade de água com vistas à avaliação dos impactos das melhorias no Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) de Medianeira/PR na qualidade da água da bacia do Rio Ocoy.

METODOLOGIA

A área de estudo abrange a bacia hidrográfica do rio Ocoy, localizada no estado do Paraná, uma região de grande importância hídrica e ambiental. O foco deste estudo está na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), em Medianeira/PR, que realiza o tratamento de efluentes urbanos lançados posteriormente no rio Alegria. Este rio, por sua vez, é um afluente direto do rio Ocoy, contribuindo com seu fluxo e, consequentemente, com a carga de nutrientes e outros elementos ao sistema. O rio Ocoy segue seu curso até desaguar no reservatório de Itaipu, um dos maiores e mais importantes reservatórios do mundo, destacando a relevância do manejo sustentável da qualidade de suas águas. A Figura 1 ilustra a localização da bacia do rio Ocoy e da ETE.

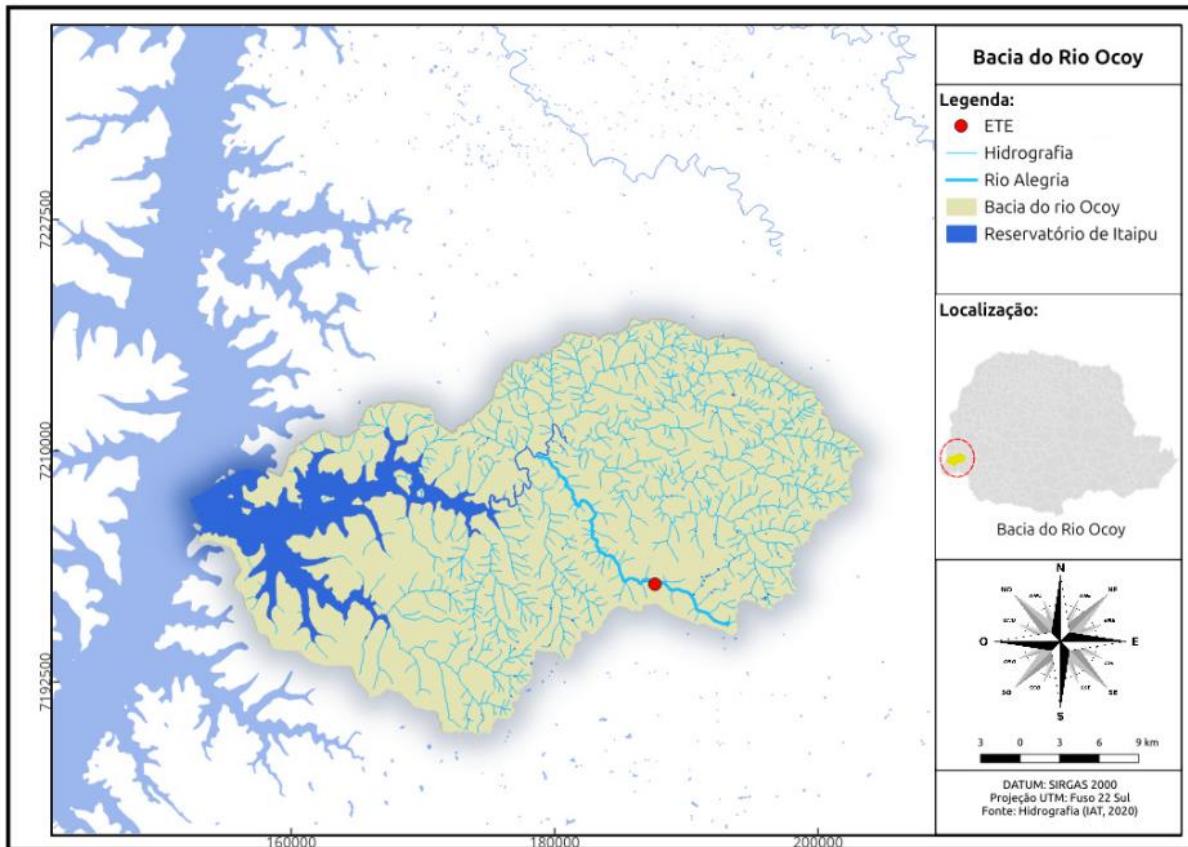


Figura 1: Localização da área de estudo.

A metodologia adotada para este estudo é composta por três etapas principais. A primeira etapa envolve o levantamento dos dados de entrada, como vazão, nível, batimetria e concentrações de poluentes. Para isso, foram realizadas campanhas de monitoramento no rio Alegria entre os anos de 2022 a 2024, além da utilização de dados históricos de monitoramento para complementar as informações necessárias.

A segunda etapa consiste na preparação do modelo, que inclui a configuração e calibração dos aspectos hidrodinâmicos e de qualidade da água. Nessa fase também são desenvolvidas as grades numéricas e batimétricas, que são fundamentais para a configuração espacial do modelo. A grade numérica define a discretização do domínio de estudo, enquanto a batimetria fornece dados sobre a profundidade e topografia do corpo hídrico.

Após a calibração do modelo com os dados coletados em campo, na terceira etapa, o modelo foi refinado e ajustado com base nas observações de campo, permitindo simular o comportamento do sistema sob diferentes condições. Para este estudo, foi escolhido o cenário de vazão mínima da bacia, que representa a condição mais crítica, quando a escassez de água leva a uma maior concentração dos parâmetros de qualidade da água, resultando em níveis mais elevados e permitindo uma análise mais rigorosa dos impactos.

As curvas de permanência de vazões são ferramentas de grande utilidade para resolver problemas hidrológicos e ambientais relacionados ao uso da água de uma bacia para diversos fins, como projetos de hidrelétricas, sistemas de irrigação e abastecimento de água, avaliação da qualidade da água e sistemas de navegação, entre outros (BLANCO et al., 2013; CASTELLARIN et al., 2004). Essas curvas ilustram a porcentagem de tempo em que uma determinada vazão é igualada ou excedida (VOGEL e FENNESSEY, 1995), sendo essenciais para avaliar a disponibilidade hídrica e os impactos ambientais sobre corpos d'água. Dentre os parâmetros mínimos de referência mais utilizados, destaca-se a vazão Q95%, adotada como critério no estado do Paraná e aplicada neste estudo. A Q95% representa a vazão que é igualada ou superada em 95% do tempo, funcionando como um indicador de baixas vazões.

Para determinar a vazão mínima de referência do rio Alegria e demais tributários que atuam como pontos de entrada do modelo, foi aplicado o método de regionalização de vazões. Esta metodologia permite estimar as

vazões de referência para uma região próxima à determinada estação fluviométrica ou a um conjunto de estações fluviométricas homogêneas, tornando possível obter dados fluviométricos para rios que não possuem medição sistemática.

Para garantir uma série de dados representativa e que estejam localizadas em uma região homogênea, optou-se pela estação fluviométrica 64892500, com dados disponíveis de 2008 a 2023. Após a aplicação do método de regionalização de vazões foram obtidas as vazões mínimas de referência utilizadas como dado de entrada do modelo.

No presente estudo, foram simulados dois cenários distintos:

1. **Cenário atual:** Considera as condições atuais observadas em campo e as concentrações de lançamento de efluentes referentes ao ano de 2024. O sistema atual de tratamento é composto por um sistema preliminar para retenção de sólidos grosseiros e areia, seguido de tratamento biológico por Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF) e processo físico-químico de floco-decantação.
2. **Cenário futuro:** Leva em conta as condições futuras de lançamento da ETE, evidenciado as melhorias resultantes das intervenções que visam otimizar o sistema de tratamento de esgoto de Medianeira/PR e reduzir os impactos no rio Alegria. O sistema futuro de tratamento, além do tratamento preliminar, prevê a utilização de 4 reatores de biofilmes em leito móvel (MBBR - Moving Bed Biofilm Reactor), tecnologia que combina os sistemas de lodos ativados e de biofilme, buscando máxima eficiência na remoção de matéria orgânica e nutrientes. O novo projeto também prevê melhoria da qualidade do efluente final da ETE quanto à nitrificação e à remoção de fósforo.

Em ambos os cenários, não foram consideradas outras cargas pontuais ao longo do rio, permitindo uma análise focada nos impactos das condições atuais e futuras da ETE. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de entrada utilizados no modelo.

Tabela 1: Parâmetros de lançamento da ETE nos cenários atual e futuro.

Parâmetros	Cenário atual	Cenário futuro
DBO (mg/L)	28,5	13,0
Fósforo total (mg/L)	3,7	1,0
Nitrogênio amoniacial (mg/L)	55,0	10,0
Vazão (L/s)	80	80

A melhoria e ampliação do sistema de tratamento têm como objetivo aumentar a eficiência do processo e atender à maior demanda decorrente da expansão da rede coletora de esgoto, contribuindo diretamente para o incremento do Índice de Atendimento com Rede Coletora de Esgoto (IARCE). Atualmente, a ETE atende 35% da população da sede urbana do município. Com a implementação das melhorias, espera-se que o IARCE atinja 65%, ampliando significativamente o alcance do saneamento básico. (ITAIPU BINACIONAL, 2020; IAT, 2024)

As melhorias contemplam um retrofit completo na ETE, incluindo a implementação de um processo unitário biológico aeróbico (MBBR), a desativação do reator anaeróbio existente e a adaptação do processo físico-químico atual. Essas alterações visam melhorar a remoção de matéria orgânica, promover a nitrificação e reduzir os níveis de fósforo, garantindo um tratamento mais eficiente. Com essas mudanças, a eficiência do sistema de tratamento passará de 83,1% para 97,67% na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), mesmo com o aumento da vazão devido à ampliação da rede coletora, que será estendida em 85 km na malha urbana. (ITAIPU BINACIONAL, 2020; IAT, 2024)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir das simulações de qualidade da água no rio Alegria, considerando os diferentes cenários simulados. O objetivo principal é avaliar as implicações das melhorias planejadas para a ETE sobre a qualidade da água do corpo hídrico receptor, com foco na redução dos impactos ambientais e na melhoria dos parâmetros de qualidade da água. As simulações foram realizadas para dois cenários distintos: o cenário atual, que reflete as condições observadas em campo em 2024, e o cenário futuro, que considera as melhorias previstas para o sistema de tratamento de esgoto da ETE. Para cada parâmetro de qualidade da água, foram gerados gráficos que ilustram a variação da concentração de cada parâmetro ao longo do corpo hídrico, desde seu trecho de montante (à esquerda do gráfico) até o trecho de jusante (à direita).

do gráfico). Ressalta-se que o Rio Alegria é classificado como Classe III, de acordo com os padrões de qualidade para águas doces definidos na referida legislação.

A Figura 2 apresenta os resultados da DBO, tanto para o cenário atual como para o cenário futuro, após as melhorias programadas na Estação de Tratamento de Esgoto.

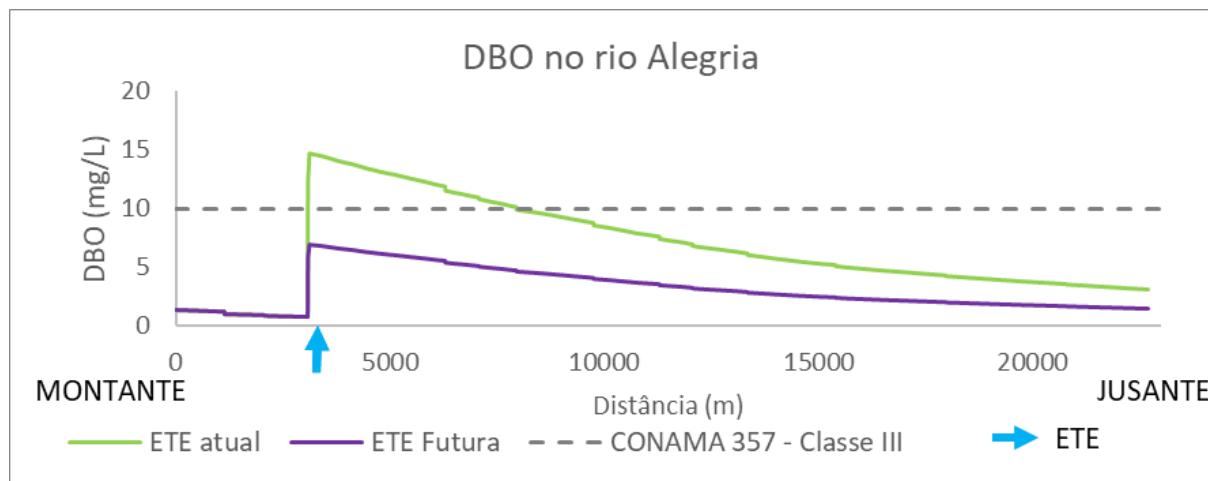


Figura 2: Resultados de DBO (mg/L).

Inicialmente, antes da descarga do esfluente tratado pela ETE, a DBO apresenta valores próximos de zero para ambos os cenários. Contudo, logo após o ponto de lançamento do esfluente tratado, indicado pela seta azul, observa-se um aumento abrupto na DBO. No cenário atual, os valores chegam a aproximadamente 15 mg/L, ultrapassando os limites estabelecidos pela legislação. Em contraste, no cenário futuro, após as melhorias programadas na ETE, a DBO atinge um valor significativamente menor, em torno de 6 mg/L, evidenciando uma melhoria substancial na qualidade do esfluente tratado.

Ao longo do trecho jusante, observa-se uma recuperação gradual da qualidade da água, com uma redução progressiva dos valores de DBO em ambos os cenários. No entanto, no cenário atual, os valores permanecem acima de 5 mg/L, mesmo nas regiões mais distantes do ponto de lançamento, indicando uma recuperação limitada. Já no cenário futuro, a DBO apresenta valores consideravelmente mais baixos e uma recuperação mais eficiente, refletindo a eficácia das intervenções planejadas na ETE para a redução da carga orgânica no esfluente.

A Figura 3 apresenta os resultados encontrados para o Nitrogênio Amoniacal, tanto para o cenário atual como para o cenário futuro, destacando as diferenças nas concentrações de nitrogênio amoniacal no rio Alegria, tanto antes quanto após as melhorias na Estação de Tratamento de Esgoto.

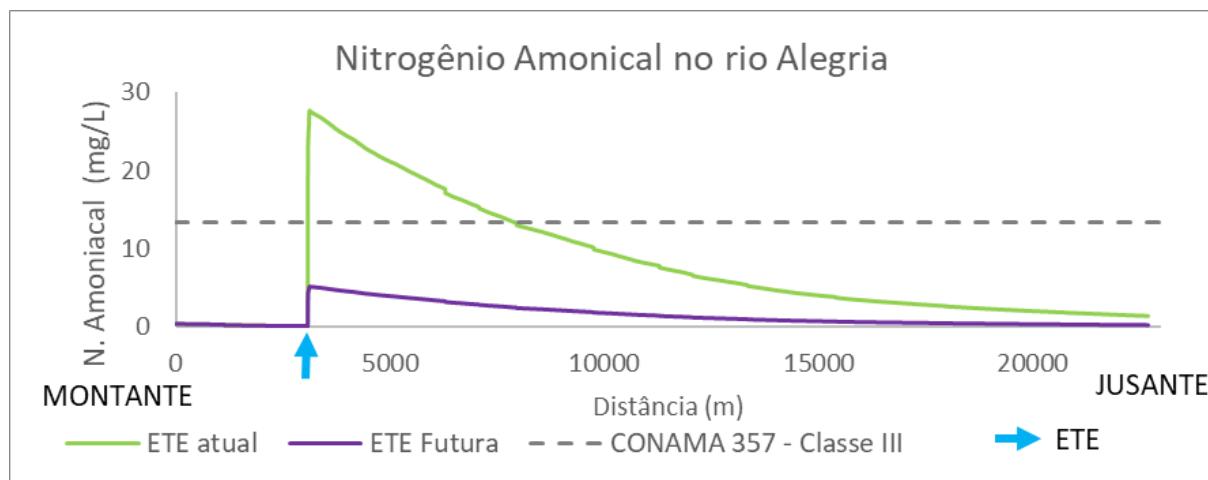


Figura 3: Resultados de Nitrogênio Amoniacal (mg/L).

Antes do lançamento do efluente tratado, as concentrações de nitrogênio amoniacal são próximas de zero para ambos os cenários. Logo após o ponto de lançamento, observa-se um aumento significativo nas concentrações desse parâmetro. No cenário atual, os valores atingem quase 30 mg/L, indicando uma elevada carga de poluição nitrogenada, muito acima do limite estabelecido para águas doces de Classe III pela Resolução CONAMA 357/2005, de 13,3 mg/L.

No cenário futuro, com a implementação das melhorias na ETE, as concentrações de nitrogênio amoniacal são significativamente menores, chegando a aproximadamente 5 mg/L logo após o ponto de lançamento. Esse valor está abaixo do limite estabelecido pela legislação, demonstrando conformidade com a legislação e uma melhora substancial na qualidade da água.

A Figura 4 apresenta os resultados encontrados para o Fósforo Total, tanto para o cenário atual como para o cenário futuro, após as melhorias programadas na Estação de Tratamento de Esgoto.

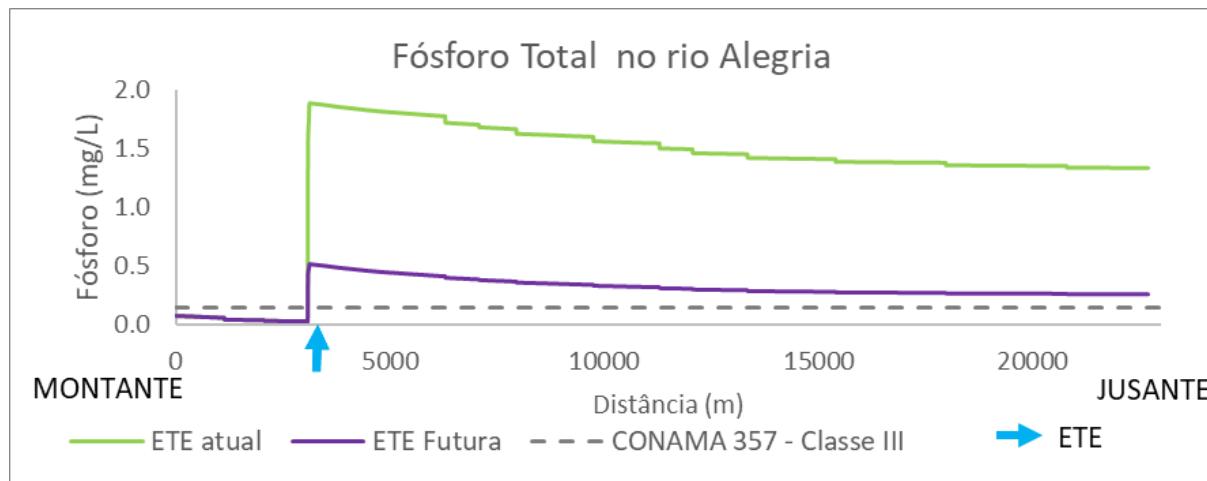


Figura 4: Resultados de Fósforo Total (mg/L).

Antes do lançamento do efluente tratado, as concentrações de fósforo total são próximas de zero para ambos os cenários. Logo após o ponto de lançamento, observa-se um aumento expressivo nesse parâmetro. No cenário atual, os valores atingem picos de quase 2 mg/L, ultrapassando de maneira significativa o limite estabelecido para águas doces de Classe III pela Resolução CONAMA 357/2005, de 0,15 mg/L.

No cenário futuro, com a implementação das melhorias na ETE, as concentrações de fósforo total apresentam uma redução substancial, atingindo aproximadamente 0,5 mg/L logo após o ponto de lançamento. Embora esse valor ainda esteja acima do limite de 0,15 mg/L, observa-se que os níveis de fósforo total no trecho jusante são consideravelmente menores em comparação ao cenário atual, com uma queda mais eficiente ao longo da distância analisada. Dessa forma, a modelagem também atua como uma ferramenta para antecipar os efeitos das intervenções planejadas na ETE, auxiliando nos ajustes de eficiência de tratamento futuro para estes parâmetros de forma a se enquadrar no limite exigido pela legislação.

Figura 5 apresenta um gráfico que resume a redução percentual alcançada nos parâmetros DBO, Nitrogênio Ammoniacal e Fósforo Total no rio Alegria, após as melhorias implementadas na ETE.

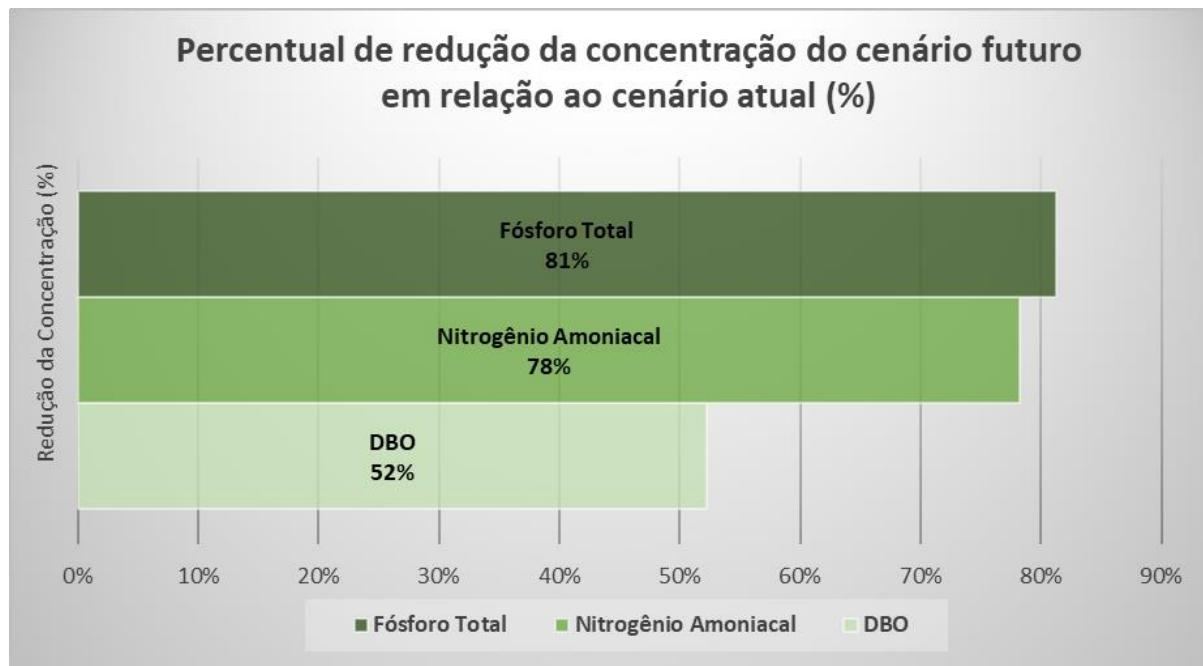


Figura 5: Percentual de redução da concentração do cenário futuro em relação ao cenário atual.

Os resultados evidenciam reduções expressivas, com destaque para o Fósforo Total, que apresentou uma diminuição de 81%, seguido pelo Nitrogênio Ammoniacal, com 78%, e pela DBO, com 52%. Esses resultados demonstram a eficácia das otimizações implementadas no tratamento de efluentes, contribuindo para a melhoria da qualidade da água ao longo do rio Alegria.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A modelagem numérica de qualidade de água demonstra ser uma ferramenta eficaz para antecipar os efeitos das intervenções planejadas na ETE, uma vez que é capaz de simular diferentes cenários e obter uma visão detalhada das condições hidrodinâmicas e de dispersão de poluentes na bacia do rio Ocoy.

A diferença entre os dois cenários evidenciou o impacto positivo que uma estação de tratamento de efluentes mais eficiente pode ter na recuperação ambiental do corpo hídrico. No cenário atual, a elevada concentração logo após o ponto de lançamento reflete uma carga poluidora significativa, que afeta a capacidade de autodepuração do rio e mantém os níveis elevados por longas distâncias. Já no cenário futuro, com a ETE otimizada, a concentração de carga orgânica e nutrientes é substancialmente reduzida, permitindo que o processo de autodepuração natural do rio seja mais eficiente, o que se reflete na diminuição mais rápida dos poluentes ao longo do trecho de jusante.

Os resultados apresentados reforçam essa tendência positiva, demonstrando reduções percentuais expressivas na concentração dos parâmetros avaliados: 81% para o Fósforo Total, 78% para o Nitrogênio Ammoniacal e 52% para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Esses valores comprovam a eficácia das melhorias realizadas na ETE, resultando em uma queda significativa das concentrações de poluentes no corpo hídrico.

Esses resultados reforçam a importância de investimentos em melhorias no tratamento de efluentes, uma vez que a redução de parâmetros relacionados à carga orgânica e aos nutrientes está diretamente relacionada à melhoria da qualidade da água, à recuperação da biodiversidade aquática e ao uso sustentável dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a toda equipe do Itaipu Parquetec, Itaipu Binacional e Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, S.S.; HARARI, J. *Modelagem da dispersão de coliformes termotolerantes e enterococos em duas enseadas na região costeira de Ubatuba (SP), Brasil.* São Paulo: Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: ReP USP. Acesso em: 25 nov. 2024.
- BLANCO, C. J. C.; SANTOS, S. S. M.; QUINTAS, M. C.; VINAGRE, M. V. A.; MESQUITA, A. L. A. *Contribution to hydrological modelling of small Amazonian catchments: application of rainfall-runoff models to simulate flow duration curves.* Hydrological Sciences Journal, 58 (7), 2013.
- CASTELLARIN, A.; GALEATI, G.; BRANDIMARTE, L.; MONTANARI, A.; BRATH, A. *Regional flow-duration curves: reliability for ungauged sites.* Advances in Water Resources. v. 27, p. 953-965, 2004.
- CHAPMAN, D.V.; KIMSTACH, V. *Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring.* 2. ed. London: Chapman & Hall, 1996.
- COSTA, N.C.D.B., VENÂNCIO, S.S., PINHO, J.L.S., VIEIRA, J.M.P. (2017). *Hydrodynamic analysis of the estuary of the Lima river, Portugal, using numerical simulation.* Environment & Water - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 12, n. 3, pp. 476-488.
- DELTARES. *Delft3D-FM Suite 2021: Manual do usuário.* 2021
- FERREIRA, F.R. (2015). *Análise da qualidade ambiental das praias do Guarujá (SP) através da avaliação de lançamentos pontuais de esgotos - Emissário Submarino do Guarujá, canais artificiais e rios da Praia do Perequê.* 135 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GARCIA, G.E.; GONÇALVES, J.E. *Implementação de Modelo Numérico para Avaliação do Transporte de Sedimentos no Reservatório de Itaipu - PR.* Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n.3, 2011, p. 49-58.
- ITAIPU BINACIONAL. Convênio nº 4500059434 / 4500059435. *Instrumento Particular de Convênio de Cooperação Técnica e Financeira para Desenvolvimento do Projeto “Implantação de Sistemas Sustentáveis de Esgotamento Sanitário”, que entre si celebram Itaipu, Fundação Parque Tecnológico Itaipu Brasil e Companhia de Saneamento do Paraná.* 2020.
- INSTITUTO ÁGUA E TERRA (IAT). Portaria de outorga prévia para Lançamento de efluentes (Portaria: 12669/2024/OP-GOUT). 2024.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. *Novo Ranking do Saneamento 2023.* São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2023.
- PEREIRA, R.S.; NIENCHESKI, L.F.H. (2004) *Avaliação da qualidade da água da Lagoa dos Patos a partir de um modelo matemático.* In: I Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. 2004, Rio Grande. Anais ... Rio Grande. FURG.
- SANTOS, G.R.; MENDES, A.T. *Financiamento do saneamento básico no Brasil: a opção debêntures incentivadas.* Brasília, DF: Ipea, fev. 2024. 35 p.: il. (Texto para Discussão, n. 2965). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2965-port>.
- TESSAROLLO, R.G.; DELA COSTA, F.P.; CURBANI, F.E.; LACERDA, K.C.; CHACALTANA, J.T.A. *Dispersão de coliformes termotolerantes no sistema estuarino da Ilha de Vitória - ES - Brasil.* In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. Anais [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2013.
- VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. *Flow-duration curves II. A Review of Applications in Water Resources Planning.* Water Resour Bull, 31 (6): 1029-1039, 1995.