


UMA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO DE UM CANAL DE UM CANAL DE DRENAGEM URBANA DE PONTAL DO PARANÁ

AN EVALUATION OF THE CAPACITY FOR SELF-PURIFICATION OF WATER FROM AN URBAN DRAINAGE CANAL OF PONTAL DO PARANÁ

Paula Cristine Blanco¹ Fernando Augusto Silveira Armani² Alexandre Bernardino Lopes³ Paulo Henrique Carneiro Lopes⁴ 

Resumo: O monitoramento da qualidade da água atrelado à modelagem matemática pode ser uma ferramenta de auxílio na tomada de decisões de políticas públicas de saneamento básico. Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de analisar, através do modelo matemático Qual2K, a autodepuração da água do canal de macrodrenagem de Pontal do Paraná/PR, em um trecho localizado próximo à Foz do Rio Olho D'água. O trecho em questão preocupa autoridades locais devido ao estado de balneabilidade da água do mar, que hoje encontra-se na qualidade de imprópria para banho. O modelo Qual2K foi utilizado com dados de medição *in loco* para as variáveis de oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a partir das quais foi possível simular um cenário para adequar o canal à Classe 3, classe de enquadramento do canal no Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea. O resultado simulado indicou que o valor de oxigênio dissolvido mínimo neste canal não foi atingido em toda a sua extensão, sendo necessário aumentar a concentração de OD à montante do trecho em 3,80 mg/L. Para isso, sugerem-se neste trabalho algumas metodologias para se melhorar a qualidade da água do canal, visando tanto o incremento de OD quanto a redução de matéria orgânica.

Palavras-chave: Qualidade da água. Modelagem matemática. Qual2K. Pontal do Paraná. Tratamento de água.

¹ Engenheira Ambiental e Sanitarista, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná/PR, e-mail: paulacristineblanco@gmail.com

² Doutor em Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná/PR, e-mail: fernando.armani@gmail.com

³ Doutor em Oceanografia Física, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná/PR, e-mail: ablopesrp@ufpr.br

⁴ Doutor em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná/PR, e-mail: phcm@ufpr.br

Abstract: Tying water quality monitoring to mathematical modeling can be seen as a support tool in public decision-making processes for basic sanitation. Hence, this project aims at analyzing the self-purification of water from the macro drainage canal of Pontal do Paraná/PR, in a stretch located near the mouth of the river Olho D'Água, by applying the Qual2K mathematical model. The stretch under analysis is a point of concern to local authorities due to the state of sea water near that region, which is currently unfit for bathing. The Qual2K model was used along with data measurements performed *in loco* by Armani et al. (2018) for the extraction of Dissolved Oxygen (DO) and Biochemical Oxygen Demand (BOD) levels, which made it possible to simulate a scenario in order to adapt the referred canal to Class 3, in accordance with the expected requirements of the Coastal Hydrologic Basin Plan. The simulated result showed that the minimal Dissolved Oxygen value in the canal was not reached in all its extension, demanding an increase of DO concentration to 3,80 mg/L. For that, this study suggests some methodologies to improve the water quality of the studied canal, with the goal of increasing DO and reducing organic matter.

Keywords: Water quality. Mathematical modeling. Qual2K. Water treatment.

1 INTRODUÇÃO

O Canal da Lagoa Amarela é o principal canal de drenagem urbana do Litoral do Estado do Paraná, onde corta toda a costa baixa, passando pelo município de Pontal do Paraná e Matinhos. Apesar do canal ter sido construído para drenar a água das chuvas, o mesmo não cumpre com a sua função por não atender toda a demanda de água pluvial que interdita a região. Ademais, o canal possui focos de despejo de esgoto doméstico não tratado, a mata ciliar do canal encontra-se degradada, e o seu curso está assoreado e eutrofizado.

Análises de qualidade da água do Canal da Lagoa Amarela apontaram que vários pontos do canal possuem elevadas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de bactérias *Escherichia coli*, em concentrações compatíveis com a Classe 4 da Resolução CONAMA N° 357/2005 (ARMANI et al., 2018). Isso implica em diversas restrições a respeito do uso da água advinda do canal, que deve estar enquadrado na Classe 3, (vazão Q=50%) segundo o Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea do Paraná (PBHL). O plano determinou o ano de 2035 para a qualidade da água dos canais urbanos melhorar a este nível, esclarecendo a importância de estudos de modelagem aplicada.

Para a realização experimental deste trabalho, foi escolhido um trecho do canal localizado na foz do Rio Olho D'água para ser revitalizado. Neste ponto, as condições de balneabilidade encontram-se impróprias para banho, fato este que preocupa tanto a população quanto as autoridades locais (vide boletim de balneabilidade: IAT, 2022/2023).

Para melhorar a qualidade da água neste trecho, este trabalho simula a autodepuração do canal com o modelo matemático de qualidade da água, Qual2K, e propõe alternativas sustentáveis de recuperação da qualidade da água *in situ* mais adequadas para a revitalização da área em questão.

O modelo Qual2K é um modelo matemático utilizado para simular a qualidade da água em corpos hídricos, como rios e lagos. Desenvolvido para análise de qualidade de água, o Qual2K ajuda a compreender e prever as mudanças nas condições da água em resposta a diferentes fatores, como a

entrada de poluentes. Desta forma, este modelo matemático é uma ferramenta de gestão ambiental, que pode fornecer importantes subsídios à melhoria da qualidade da água, auxiliando tanto no controle ambiental como na tomada de decisões nas políticas públicas de saneamento básico (GONÇALVES *et al.*, 2009).

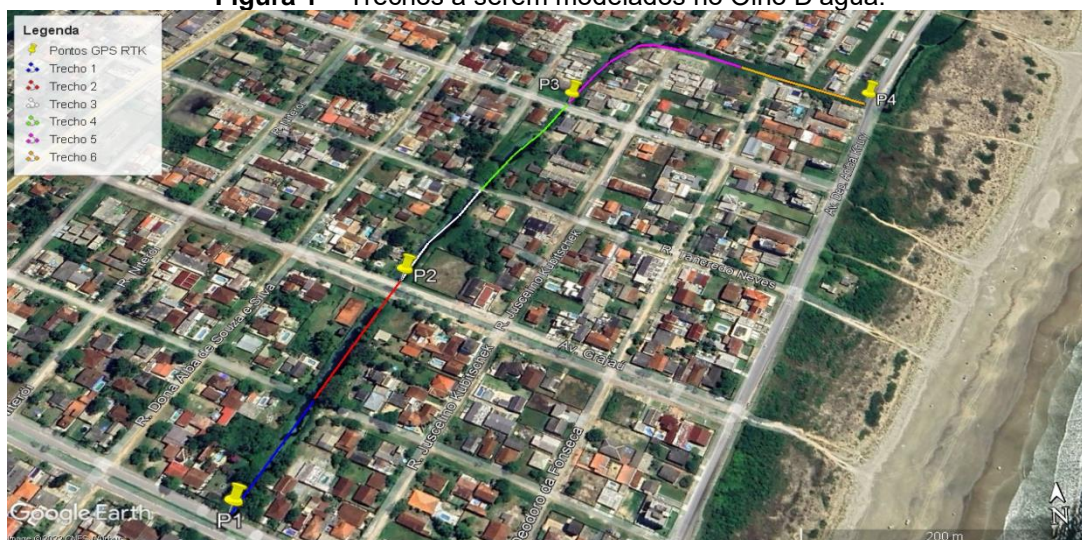
A autodepuração de um rio corresponde à sua capacidade natural em degradar matéria orgânica. Segundo Bárbara (2006), esse fenômeno acontece por meio de vários ciclos de nutrientes e de trocas de energia que ocorrem de forma contínua e simultânea no ecossistema hídrico. Esses ciclos obedecem a processos físicos, como por exemplo a sedimentação, diluição e reaeração; químicos, como as reações de oxidação; e biológicos, como a fotossíntese.

Deste modo, este trabalho serve de instrumento para melhorar o saneamento e a drenagem urbana do Litoral do Paraná, através de análises da autodepuração da água utilizando o modelo matemático Qual2K e propondo alternativas para o tratamento "*in loco*" da água do Canal da Lagoa Amarela. Conseqüentemente, o mesmo também colabora com a agenda do Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a simulação da autodepuração do canal na região do Olho D'água, o mesmo foi dividido em 6 trechos, como mostra a Figura 1. Os trechos apresentam características hidráulicas semelhantes, definidas pela profundidade, largura e área da seção transversal. O comprimento e a declividade de cada trecho variam.

Figura 1 – Trechos a serem modelados no Olho D'água.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro (2023).

Os parâmetros de qualidade da água que este trabalho analisa no processo de autodepuração são o oxigênio dissolvido (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO5), principais parâmetros indicadores de poluição hídrica.

A metodologia empregada para determinar os valores de autodepuração dos parâmetros de OD e DBO5 na desembocadura do canal foi inserir os dados de Armani et al. (2018) na planilha *Headwater* do modelo Qual2K e depois inserir as variáveis de caracterização física dos trechos do canal na planilha *Reach*, variáveis estas como latitude e longitude, cotas altimétricas de início e fim de cada trecho, largura de cada trecho, declividade de cada trecho e cobertura vegetal. Na planilha *Reach Rates* foi inserido os valores de reaeração de cada trecho e na planilha *Hydraulics Data* foi constatado os dados de vazão e velocidade de cada trecho do canal. Alimentado todas essas variáveis para a modelagem, foi possível rodar o modelo para a verificação dos valores de autodepuração de OD e DBO5 ao longo do canal.

Para a elaboração deste trabalho e melhor análise para as tomadas de decisões, foram elaborados três cenários de autodepuração:

- Cenário 1: Simulação das condições atuais do canal;

Neste cenário foram inseridos valores do monitoramento de OD e DBO₅ advindos do trabalho de Armani et al. (2018) para verificar como está a situação atual do canal.

- Cenário 2: Implantação de uma rede coletora de esgoto na região e remoção da vegetação que ocupa a área do canal;

Neste cenário foi alterado na planilha *Reach* o valor da cobertura vegetal de todo o canal para 0% e alterado a constante de decaimento da DBO₅ (*K_{dc}*) para o valor referente a “águas limpas” (vide Tabela 1) na planilha *Rates*.

- Cenário 3: Implantação de uma rede coletora de esgoto na região, remoção da vegetação que ocupa o canal e injeção mecânica de oxigênio dissolvido.

Neste cenário foi considerada uma cobertura vegetal de 0% e um *K_{dc}* referente a águas limpas, para todos os trechos. Também na planilha *Headwater* aumentou-se o valor de OD inicial do canal para a simulação de inserção de oxigênio dissolvido.

As vazões iniciais de cada trecho foram calculadas através da fórmula de Manning. O coeficiente de rugosidade de Manning (*n*) adotado para o cálculo da vazão neste trabalho foi referenciado por Porto 4^a Ed. (2006).

A reaeração atmosférica considerada no modelo depende de algumas variáveis como a temperatura e algumas características do canal. O modelo Qual2K dispõe de oito fórmulas empíricas para o cálculo do coeficiente de reaeração, *K_a* (*dia*⁻¹) a 20 °C, cada uma com suas particularidades e condições de aplicação.

De acordo com Covar (1976), se $H > 0,61$ e $H < 3,45 V^{2,5}$, onde *H* é a profundidade (m) e *V* é a velocidade do fluxo d'água (m/s), deve-se usar a equação de Churchill, Elmore e Buckingham (1962) (Equação 1).

Churchill, Elmore e Buckingham (1962):

$$K_a = 5,026 \frac{V}{H^{1,67}} \quad (1)$$

Onde:

V : velocidade do fluxo (m/s);

H : profundidade (m).

Para todos os trechos, nos três cenários, foi utilizada a equação de Churchill, Elmore e Buckingham (1962).

Já para a constante de decaimento da DBO₅ (K_{dc}), os valores típicos variam de 0,05 a 0,5 dia^{-1} , de acordo com o nível de tratamento do efluente a ser lançado, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Valores típicos dos coeficientes de remoção de DBO₅ (K_{dc}) a 20°C.

Curso d'água	K_{dc} (dia^{-1})
Recebendo esgoto bruto concentrado	0,35 – 0,45
Recebendo esgoto bruto de baixa concentração	0,30 – 0,40
Recebendo efluente primário	0,30 – 0,40
Recebendo efluente secundário	0,12 – 0,24
Com águas limpas	0,08 – 0,20

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sobre as variáveis de extrema relevância para rodar a modelagem de autodepuração no modelo Qual2K: as cotas altimétricas geométricas e as declividades dos trechos foram verificadas através do Sistema de Navegação Global via Satélite - GNSS, pelo método RTK (ingl. *Real-time Kinematic*) em campo. Já as larguras dos trechos do canal foram estimadas em 4,5 m para todos os trechos. Os comprimentos dos trechos foram estimados com o software *Google Earth Pro*. Para a profundidade, considerou-se o valor de 1,5 m para todos os trechos, valor obtido em campo. Esses dados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados de entrada para as modelagens de autodepuração no trecho do Olho D'água.

Trechos	Altitude (m) início - fim	Comprimento (m)	Declividade (%)	Largura (m)	Profundidade (m)
1 montante	2,55 – 2,44	105	0,10	4,5	1,5
2	2,44 – 2,31	127	0,10	4,5	1,5

3	2,31 – 1,94	119	0,31	4,5	1,5
4	1,94 – 1,52	132	0,31	4,5	1,5
5	1,52 – 1,47	211	0,03	4,5	1,5
6	1,47 – 1,44	120	0,03	4,5	1,5

Fonte: A autora (2023).

O coeficiente de rugosidade de Manning (n), variável para o cálculo da vazão, no Cenário 1 foi de 0,04, valor correspondente a canais com leito pedregoso e vegetação nos taludes. Já para os cenários 2 e 3, considerou-se n igual a 0,019, correspondente a canais de terra, retilíneos e uniformes.

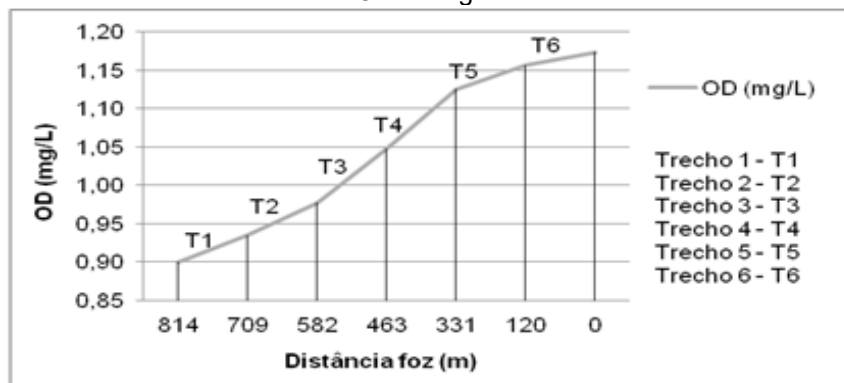
Foi considerada uma cobertura vegetal de 100% em todos os seis trechos do Olho D'água para a simulação da autodepuração no Cenário 1. Para os Cenários 2 e 3, considerou-se 0% de cobertura vegetal em todos os trechos. Considerando que o trecho do canal no Olho D'água recebe esgoto bruto de baixa concentração, o valor de K_{dc} utilizado no Cenário 1 foi o de $0,35 \text{ dia}^{-1}$, alterado manualmente na guia *Rates* da planilha do Qual2K.

Para os Cenários 2 e 3, onde considerou-se que a rede coletora de esgoto foi implantada na região em estudo, foi utilizado o K_{dc} de $0,10 \text{ dia}^{-1}$, classificado em "águas limpas".

3.1 Cenário 1: autodepuração atual

O Gráfico 1 mostra a evolução da concentração de oxigênio dissolvido na água devido ao processo de autodepuração no trajeto do trecho 1 ao trecho 6.

Gráfico 1 – Modelagem de autodepuração do oxigênio dissolvido para o trecho próximo à foz Olho D'água.



Fonte: A autora (2023).

Já o Gráfico 2 mostra o decaimento da demanda bioquímica de oxigênio ao longo do trecho 1 ao trecho 6, promovido pela autodepuração da qualidade da água no canal.

Gráfico 2 – Modelagem de autodepuração da demanda bioquímica de oxigênio para o trecho próximo à foz do Olho D'água.



Fonte: A autora (2023).

O Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea do Paraná, com base na Resolução CONAMA N° 357/2005, enquadra a água do canal à Classe 3. Nota-se no Gráfico 2 que no final do trecho 6 do canal, a DBO5 tem concentração de 5,98 mg/L, o qual se encontra dentro dos limites preconizados, que é de até 10 mg/L.

Já a concentração de OD, Gráfico 1, ao chegar no final do trecho 6 do canal, trecho este que antecede a desembocadura do Olho D'água, não atinge o nível de oxigênio dissolvido permitido pela Classe 3 (não inferior a 4 mg/L). A concentração de OD no final do trecho 6 aponta 1,17 mg/L após a autodepuração simulada pelo Qual2K.

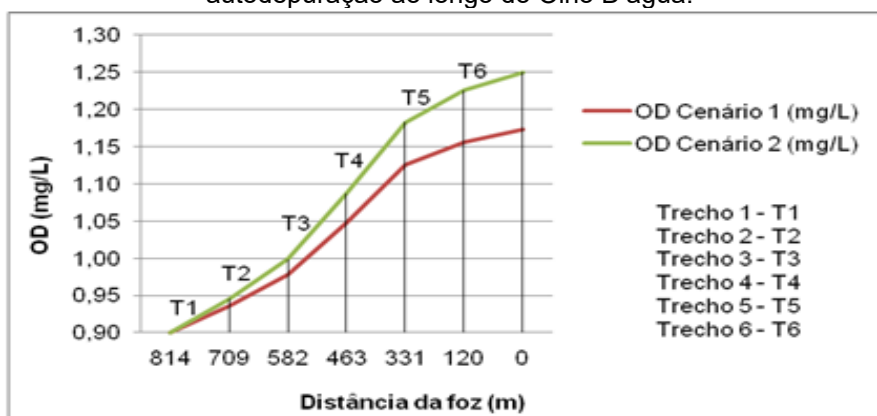
Nota-se que o canal não promove a autodepuração da qualidade da água o suficiente para atender à CONAMA N° 357/2005 nos trechos avaliados, escoando ao mar em condições inadequadas à balneabilidade.

3.2 Cenário 2: implantação de uma rede coletora de esgotos

No trecho em estudo, próximo à foz do Olho D'água, não há rede coletora de esgotos. Considerando a implantação da rede sanitária, remoção da

vegetação e desprezando qualquer incremento de matéria orgânica neste trajeto, o Gráfico 3 mostra a comparação da evolução da concentração de oxigênio dissolvido na água, no processo de autodepuração ao longo do trecho do Olho D'água, entre os Cenários 1 e 2.

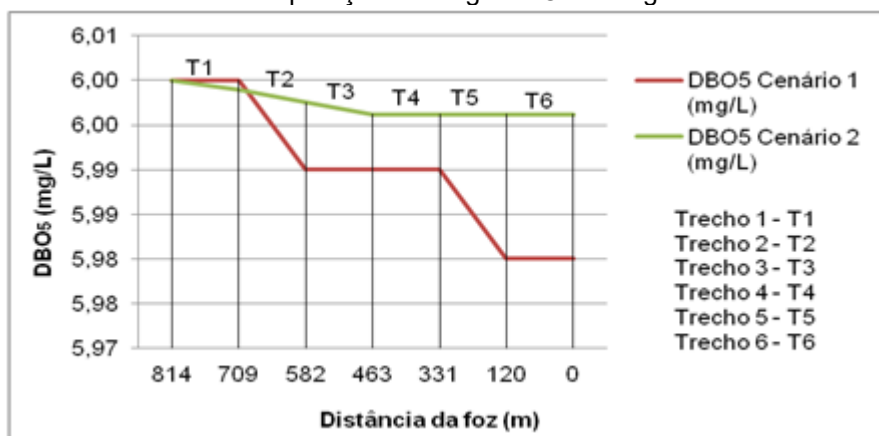
Gráfico 3 – Comparação da concentração de OD entre os Cenários 1 e 2 no processo de autodepuração ao longo do Olho D'água.



Fonte: A autora (2023).

Já o Gráfico 4 mostra a comparação do decaimento da demanda bioquímica de oxigênio ao longo do trecho do Olho D'água, entre os Cenários 1 e 2.

Gráfico 4 – Comparação da concentração de DBO5 entre os Cenários 1 e 2 no processo de autodepuração ao longo do Olho D'água.



Fonte: A autora (2023).

No Cenário 1, nota-se a incapacidade de autodepuração do canal nas condições em que se encontra. Implementando algumas intervenções viáveis à

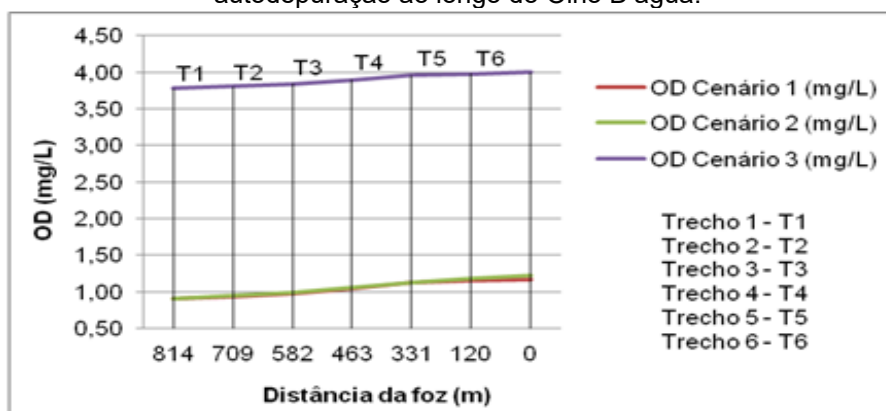
prefeitura, como remoção da vegetação e implantação de uma rede coletora de esgoto na região, o Cenário 2 mostrou uma melhora na concentração de OD ao chegar na foz. Mesmo assim, nota-se que o canal ainda não tem capacidade suficiente de se autodepurar até chegar à concentração de oxigênio dissolvido permitida.

Deste modo, certifica-se que é essencial melhorar a qualidade da água no ponto monitorado por Armani et. al. (2018). Acima deste ponto já existe rede coletora de esgoto. Portanto, é fundamental a averiguação do motivo pelo qual a qualidade da água se encontra naquele estado, verificando se as residências estão ligadas à rede coletora de esgoto.

3.3 Cenário 3: inserção de oxigênio dissolvido

Com a finalidade de melhorar a qualidade da água no final do trecho em questão, depois de testar várias possibilidades, propõe-se o seguinte cenário: implantação de uma rede coletora de esgotos ($K_{dc} = 0,10 \text{ dia}^{-1}$), incremento de 3,78 mg/L de oxigênio dissolvido no primeiro trecho avaliado deste trabalho, e remoção da cobertura vegetal superficial do canal. O Gráfico 5 mostra a comparação da concentração de oxigênio dissolvido na água, no processo de autodepuração ao longo do trecho do Olho D'água, entre os Cenários 1, 2 e 3.

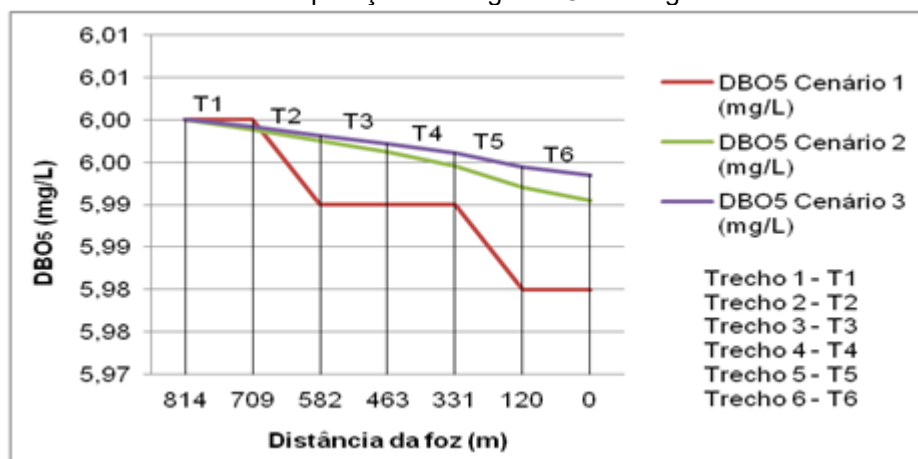
Gráfico 5 – Comparação da concentração de OD entre os Cenários 1, 2 e 3 no processo de autodepuração ao longo do Olho D'água.



Fonte: A autora (2023).

Já o Gráfico 6 mostra a comparação do decaimento da demanda bioquímica de oxigênio ao longo do trecho do Olho D'água, entre os Cenários 1, 2 e 3.

Gráfico 6 – Comparação da concentração de DBO5 entre os cenários 1, 2 e 3 no processo de autodepuração ao longo do Olho D'água.



Fonte: A autora (2023).

As modelagens da concentração de OD para os três cenários possuem comportamentos semelhantes. No Cenário 3, constatou-se que o OD, ao chegar no final do trecho 6, atingiu o nível de oxigênio dissolvido da Classe 3, segundo a Resolução CONAMA 357/05. Já com relação à DBO5 não houve mudanças significativas. A concentração de 5,99 mg/L continua enquadrada na resolução.

3.3 Recuperação da qualidade da água

Como sugestão para se melhorar a qualidade da água na foz do trecho em questão, este trabalho aconselha fazer a remoção da cobertura vegetal superficial do Canal da Lagoa Amarela, visto que o mesmo encontra-se atualmente eutrofizado. Segundo Silva et. al. (2012), o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas contribui para o processo de deterioração da qualidade da água. Tal excesso de vegetação diminui a velocidade do fluxo d'água, diminui a concentração de oxigênio dissolvido na água e escurece a coluna d'água, o que impede a sobrevivência de seres fotossintetizantes e favorece a existência de seres anaeróbios produtores de substâncias tóxicas, tal como o gás sulfídrico.

Também é preconizado que se faça a ligação predial das edificações do município à rede coletora de esgoto de Pontal do Paraná. A ausência deste serviço público perpetua a poluição do Canal da Lagoa Amarela, trazendo prejuízos à saúde pública e à balneabilidade das praias. Neste sentido, também o Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea traz estimativas tanto da carga orgânica a ser removida por área estratégica de gestão (AEG) quanto dos custos e investimentos necessários por município, considerando que a poluição orgânica dos canais de drenagem urbanos é um dos principais passivos ambientais remanescentes na região litorânea.

Um trabalho de Muniz (2022) versou verificar a possível influência da ampliação do sistema de esgotamento sanitário sobre a balneabilidade das praias do município de Itanhaém – SP. Os resultados apresentados revelaram que com a implantação do Programa Onda Limpa, primeira etapa da ampliação da rede coletora de esgoto em Itanhaém, um menor aporte de esgotos clandestinos passou a ocorrer nos canais naturais de drenagem urbana, cujas águas desembocam nas 11 praias do município. Uma comparação entre os relatórios de balneabilidade de antes e depois da implantação deste programa também mostrou que houve um menor contato dos usuários banhistas com os microrganismos patogênicos alóctones como vírus, bactérias e protozoários que são frequentemente detectados em praias com déficit de saneamento.

Além disso, sugere-se ainda neste trabalho, realizar programas de educação ambiental e ciência cidadã, direcionada aos moradores próximos aos canais de drenagem e aos rios urbanos do litoral. As campanhas de educação a respeito do uso correto dos recursos hídricos e canais de drenagem tornam-se um projeto eficiente na conscientização sobre a importância da sustentabilidade dos recursos naturais para o desenvolvimento da região (TELES, 2015).

O programa C.3: Educação Ambiental e Comunicação Social, do Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea do Paraná, ratifica a necessidade das ações de educação ambiental para que os usuários da água, a Sociedade Civil e o Poder Público estejam em sinergia com os objetivos do plano, auxiliando na conservação ao longo prazo dos recursos naturais e na implementação dos

outros programas, como exemplo, o programa F.1: Acompanhamento do Plano da Bacia e a Efetivação do Enquadramento.

Caso a qualidade da água não melhorar até a Classe 3, após a implementação das sugestões acima, uma solução viável, rápida e paliativa é o incremento de oxigênio dissolvido no canal através da tecnologia de inserção por microbolhas de ar, a qual tem sido utilizada com êxito em diversos projetos de recuperação da qualidade da água *in situ* de corpos hídricos (SCAINI, 2019).

Cabe ressaltar que a classificação proposta pelo Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea considerou que a Classe 3 deve estar presente em pelo menos 50% do tempo de vazão (Q50%) nos canais de drenagem urbana do litoral, considerando que a influência das marés altas ajuda a diluir a carga orgânica. Entretanto, este sistema de drenagem do Canal da Lagoa Amarela está conectado ao sistema de canais artificiais que drena para o Rio Guaraguaçu (água doce), o qual presta um serviço ambiental de diluição dos efluentes das duas estações de tratamento de esgotos existentes na região.

Portanto, intervenções nas embocaduras dos canais ou soluções de micro e macrodrenagem que favoreçam a entrada de água marinha neste sistema hidrográfico não são recomendáveis, sob risco de comprometimento da função de diluição e de altíssimo risco de impacto ambiental por salinização na bacia do Rio Guaraguaçu, que está na Classe 1 e possui funções de manancial de abastecimento público.

Isso esclarece a importância da adoção da modelagem da qualidade da água e de alternativas como a reaeração por microbolhas e o manejo de macrófitas aquáticas. As microbolhas possuem propriedades físicas únicas que aceleram e otimizam a decomposição da matéria orgânica na água. Tais bolhas contêm alta concentração de oxigênio e deslocam-se com menor velocidade na água, sendo mais estáveis do que as bolhas maiores. Elas não flutuam em direção à superfície e são mais difíceis de romper rapidamente, podendo durar dias ou até alguns meses na água (ETCHEPARE, 2016).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo de caso conduzido próximo à foz do Rio Olho D'água, no município de Pontal do Paraná – PR, versou a avaliação de simulações de autodepuração em três cenários.

De acordo com o Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea do Paraná, o canal é enquadrado na Classe 3 da Resolução CONAMA N° 357/2005 e, portanto, ao longo de seu curso as características deveriam ser compatíveis com a classe de seu enquadramento. Porém, o resultado simulado no cenário atual (Cenário 1) indicou que o valor de oxigênio dissolvido neste trecho não foi atingido em toda a sua extensão.

Foi simulado, então, um cenário de implantação de uma rede coletora de esgotos e remoção da vegetação superficial (Cenário 2). Entretanto, constatou-se que mesmo assim, a concentração de oxigênio dissolvido não atingiu o enquadramento estabelecido pelo Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea. Isso se dá ao fato deste trecho ser relativamente plano, não possuindo uma declividade considerável para uma autodepuração rápida e eficiente.

Além da implantação de uma rede coletora de esgotos e a remoção da vegetação, este trabalho sugere ainda realizar a educação ambiental dos moradores do entorno do canal para que os mesmos não poluam o curso d'água. Um cenário paliativo (Cenário 3) sugerido para enquadrar o canal em situações emergenciais, como na temporada de veraneio, foi incrementar 3,78 mg/L de OD no início do trecho analisado. Através dessa simulação, prevê-se que após 2 dias, ao chegar à foz, a água irá se enquadrar no PBHL, contendo uma concentração de 4,00 mg/L de OD. Este cenário pode ser aplicado através da tecnologia de inserção de oxigênio dissolvido por microbolhas de ar, que são bolhas que aceleram a biodecomposição da matéria orgânica na água.

As sugestões acima permitem uma melhora na qualidade da água e isso consequentemente atende à agenda do Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea do Paraná, que determinou o ano de 2035 para a qualidade da água dos canais urbanos do litoral melhorar à Classe 3 da Resolução CONAMA N° 357/2005.

A tecnologia por micro e nanobolhas de ar é a última alternativa para tratar a água *in situ* do canal, uma vez que este método adiciona custos com a compra de um gerador e com o consumo de energia elétrica. Porém, este é um método

paliativo eficiente e aplicável, uma vez que a rede coletora de esgotos demora a ser implantada e os resultados da educação ambiental são difíceis de avaliar e identificar.

Deste modo, a falta de uma gestão adequada do uso das águas superficiais e subterrâneas deteriora a qualidade das mesmas e dificulta a manutenção da vida dependente deste recurso natural. No geral, as consequências das atividades humanas em ambientes aquáticos favorecem: a contaminação dos corpos d'água com metais pesados e substâncias orgânicas; a eutrofização (e eventual florescimento excessivo de cianobactérias com cepas tóxicas); a acidificação das águas; o aumento da quantidade de material em suspensão; e um aumento da incidência e dispersão de doenças de veiculação hídrica (TUNDISI, 2006).

Atualmente o curso do Canal da Lagoa Amarela encontra-se assoreado e eutrofizado, totalmente sem manutenção e com focos de despejo de esgoto doméstico não tratado. Ademais, a população pontalense sofre, anualmente, com os efeitos negativos das chuvas intensas de verão, que ocasionam inundações nas áreas marginais do canal e alagamentos no perímetro urbano, além de piorar também a qualidade sanitária da região.

Portanto, este trabalho serve de instrumento para melhorar o saneamento e a drenagem urbana do Litoral do Paraná e, conseqüentemente, o mesmo colabora com a agenda do Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea.

Ademais, ao melhorar a qualidade da água dos canais de drenagem urbana, este trabalho também ajuda a melhorar a dinâmica do município de Pontal do Paraná, uma vez que a boa balneabilidade das praias desempenha um papel importante na saúde, lazer e turismo da população local e visitante, o que contribui intrinsecamente com a economia da cidade.

REFERÊNCIAS

ARMANI, F. A. S. et al. Qualidade das Águas dos Rios Urbanos das Cidades de Matinhos - PR e Pontal do Paraná - PR. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, 2018.

BÁRBARA, V. F. **Uso do modelo Qual2E no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do Rio Araguari - AP (Amazônia)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal do Goiás, Goiânia, out. 2006. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/593/1/Viniciu%20Fagundes%20Barbara%20em%20PDF.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

CHURCHILL, M.A.; ELMORE, H.L.; BUCKINGHAM, R.A. **The prediction of stream reaeration rates**. J. Sanit. Engrg. Div. , ASCE, 88 {4}, 1-46, 1962.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2024.

COVAR, A. P. 1976. "**Selecting the Proper Reaeration Coefficient for Use in Water Quality Models**." Presented at the U.S. EPA Conference on Environmental Simulation and Modeling, April 19-22, 1976, Cincinnati, OH.

ETCHEPARE, R.G. **Geração, caracterização e aplicações das nano bolhas na remoção de poluentes aquosos e reuso de água por flotação**. 2016.

GONÇALVES, J. C. de S. I. et. al. O uso do modelo Qual2K como subsídio à seleção de alternativas de tratamento de esgotos – estudo de caso: município de São Simão – SP. **Revista Uniara**, v. 12, n.2, dez. 2009. Disponível em: <<https://www.revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/156>>. Acesso em: 11 mar. 2024.

MUNIZ, C. C. Gestão, saneamento ambiental e balneabilidade das praias: um estudo de caso no município de Itanhaém, São Paulo. **ATEN@**, v. 2, n. 4. 2022. Disponível em: <<https://periodicos.unimesvirtual.com.br/index.php/gestaoenegocios/article/view/1339>>. Acesso em: 11 mar. 2024.

PARANÁ. **Monitoramento das Condições de Balneabilidade das Praias do Litoral Paranaense: Boletim Nº 05**. IAT, 2022/2023. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/sites/aguaterra/arquivos_restritos/files/documento/2023-01/5o_boletim_balneabilidade_litoral.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2024.

PARANÁ. **Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea: Produto 16: Programas de Intervenções. Revisão Final - Agosto 2019**. IAT, 2019.

PARANÁ. **Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea: Relatório Final: Revisão Final - Agosto 2019**. IAT, 2019.

SCAINI, M. S. **Alternativas de tratamento de corpos d'água contaminados em cidades litorâneas: um estudo de caso em Balneário Arroio do Silva**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e

Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, 2019.

SILVA, D. S.; MARQUES, E. E.; LOLIS, S. F. Macrófitas aquáticas: “vilãs ou mocinhas”? **Revista Interface**, NEMAD, Tocantins, n. 4, 2012.

TELES, A. S. Ligações domiciliares de esgoto e sua importância ambiental. Dissertação (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, 2015.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo, n.70, p. 24-35, junho/agosto de 2006.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água**. 1. ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Minas Gerais: 2007.