

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

INFRAESTRUTURA HÍDRICA E QUALIDADE DA ÁGUA: A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO EM GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Maria Luiza das Neves Quintella¹; Luciane Lemos do Prado² Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes³

Abstract: The objective of this research is to investigate the dynamics of organic matter in the Iguaçu River, in the Alto Iguaçu sub-basin, located in the State of Paraná, through qualitative and quantitative water monitoring, from March to June 2025, related to the physical, chemical and biological characteristics of the study basin (Knapik, 2011), at a strategic point of environmental monitoring control and collection for public supply. Samples were collected at three different monitoring points: two points in a highly urbanized river (IG2 D and IG2 E) and another in a clean water channel, both with different characteristics and distinct concentrations of organic matter. The strategy adopted to evaluate the dynamics of organic matter and quality of the water body, physical-chemical analyzes were performed such as: Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Oxygen (DO), Dissolved Organic Carbon (COD) and Chemical Oxygen Demand (COD). Results obtained to date indicate high concentrations of organic matter in the water bodies analyzed, and failure in the treatment system, reflected by the significant increase in the BOD, COD and Dissolved Organic Carbon indexes, parameters widely used to determine the quality of a water body. The results demonstrate the relevance of the water infrastructure built for this purpose.

Resumo: O objetivo desta pesquisa consiste em investigar a dinâmica da matéria orgânica do Rio Iguaçu, na sub-bacia do Alto Iguaçu, localizada no Estado do Paraná, por meio do monitoramento quali-quantitativo da água, durante março a junho de 2025, relacionada com as características físicas, químicas e biológicas da bacia hidrográfica de estudo (Knapik, 2011), em ponto estratégico de controle de monitoramento ambiental e de captação para abastecimento público. Foram coletadas amostras em três pontos distintos de monitoramento: dois pontos em um rio altamente urbanizado (IG2 D e IG2 E) e outro em um canal de água limpa, ambos com diferentes características e concentrações de matéria orgânica distintas. A estratégia adotada para avaliar a dinâmica da matéria orgânica e qualidade do corpo d'água, foram realizadas análises físico-químicas como: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Resultados obtidos até o momento, indicam elevadas concentrações de matéria orgânica nos corpos hídricos analisados, e falha no sistema de tratamento, refletida pelo aumento significativo dos índices de DBO, DQO e Carbono Orgânico Dissolvido, parâmetros amplamente utilizados para saber a qualidade de um corpo hídrico. Os resultados demonstram a relevância da infraestrutura hídrica construída para este fim.

Palavras-Chave – Bacia do Alto Iguaçu; Monitoramento de Qualidade da Água; Parâmetros de Qualidade da Água.

¹⁾ Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba - PR, mariaquintella@ufpr.br

²⁾ Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba - PR, lucianeprado@ufpr.br

³⁾ Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba - PR, cris.dhs@ufpr.br

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural e fundamental para a manutenção da vida, em um contexto urbano e rural, a disponibilidade e qualidade da água são objetivos indispensáveis quando se trata de abastecimento público. É um recurso tão importante que define o desenvolvimento que uma região, país ou sociedade pode alcançar (Setti et al, 2001). Com a expansão urbana e agrícola desordenada ao redor de bacias hidrográficas do estado do Paraná, a Bacia do Alto Iguaçu, possui um papel fundamental no estado devido sua importância para o abastecimento público, e seu território enfrenta graves e persistentes problemas de poluição hídrica, durante os últimos 25 anos, como despejo de efluentes. Entre as principais causas da deterioração da qualidade da água na Bacia do Alto Iguaçu destacam-se os efluentes domésticos e industriais, e suas altas cargas de matéria orgânica, resultando na poluição dos corpos hídricos em níveis muito acima dos limites críticos aceitáveis pela legislação vigente. Dessa forma, é fundamental estabelecer leis e metas obrigatórias efetivas para garantir que a qualidade da água de uma bacia hidrográfica esteja em conformidade com os padrões estabelecidos pelo CONAMA 357/2005.

A gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas críticas é um processo de planejamento que envolve ações e estratégias, para recuperar e preservar um corpo hídrico, assegurando sua disponibilidade e qualidade a longo prazo. Portanto, os Planos de Recursos Hídricos estabelecem instrumentos de gestão que orientam na tomada de decisões. Ao longo dos anos, os avanços na legislação brasileira têm sido fundamentais para garantir o cumprimento desses objetivos, permitindo a análise da necessidade de aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos. No que se refere à legislação brasileira e gerenciamento das águas, a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), sancionada em 1997, se tornou o principal instrumento de gestão dos recursos hídricos (BRASIL, 1997), a fim de enquadrar corpos d'água, estabelecendo metas obrigatórias de qualidade da água a fim de assegurar os preponderantes pretendidos e níveis de qualidade que devem atender às necessidades da comunidade (CONAMA 357/2005).

A matéria orgânica pode ser entendida como uma complexa matriz de compostos orgânicos provenientes de fontes antrópicas ou biológicas, produzida por microrganismos presentes nos corpos d'água (CRITTENDEN et al., 2012). Essa matéria orgânica pode sofrer alterações e originar diferentes compostos orgânicos, interferindo na disponibilidade de nutrientes, na solubilidade e toxicidade de contaminantes, ou ainda, pode alterar a acidez das águas naturais (Bowie et al., 1985). Suas altas concentrações nos recursos hídricos podem gerar inúmeros problemas ambientais e de saúde pública, necessitando de um controle e tratamento adequado para a manutenção da qualidade da água.

No contexto de responsabilidade para abastecimento público adquirida pela Bacia do Alto Iguaçu, é relevante considerar o papel da infraestrutura hídrica no ponto de monitoramento IG2. Esta solução foi proposta com o objetivo de auxiliar na compatibilização do Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da RMC e a proteção das áreas de mananciais. Este destaque é dado para a avaliação do comportamento da matéria orgânica no ponto IG2, do Rio Iguaçu, e a utilização dos principais indicadores quantitativos para determinar a presença de matéria orgânica no corpo hídrico de estudo são a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD) e carbono orgânico dissolvido (COD). Este estudo, tem como objetivo principal estabelecer uma estratégia de monitoramento para analisar a qualidade da água e avaliar a dinâmica da matéria orgânica do marco zero do Rio Iguaçu, principal afluente da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, onde ocorre a confluência dos rios Iraí e Atuba, no município de Curitiba e Região Metropolitana de Curitiba (RMC), Paraná. Para isso, foram realizados ensaios convencionais e análises físico-químicas para comparar o Rio Iguaçu, no ponto de monitoramento IG2 (Direita e

Esquerda), com um canal paralelo de água limpa, utilizado para abastecimento público, por responsabilidade da empresa de saneamento do Estado do Paraná, SANEPAR. Neste contexto, esta pesquisa serve para estabelecer reflexões e bases para uma análise mais crítica sobre os métodos aplicados e suas correlações químicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando que a fundamentação metodológica é baseada no monitoramento de 3 pontos para parâmetros convencionais e análises físico-químicas, apresenta-se os elementos para estabelecer reflexões e bases para uma análise mais crítica sobre os métodos aplicados e suas correlações químicas.

Área de Estudo

Para o desenvolvimento deste artigo, foi utilizada como estudo de caso a Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu. Localizada no estado do Paraná, com 3.000 km² de extensão, abrange a cidade de Curitiba e Região Metropolitana de Curitiba (RMC), a região é composta pelas bacias hidrográficas: Atuba, Barigui, Palmital, Passaúna, Piraquara, Pequeno, Iraí, Itaqui, Miringuava e Verde. Configurada como a bacia hidrográfica mais importante do Estado do Paraná, em razão da concentração populacional que necessita da bacia para abastecimento hídrico (Knapik, 2014). A Bacia do Alto Iguaçu é uma sub-bacia relevante da Bacia do Iguaçu, na vertente oeste da Serra do Mar, em razão da consolidação da Região Metropolitana de Curitiba, objeto de estudo e monitoramento desde 2003 (Fernandes et al. 2016), conta com 10 pontos de monitoramento (IG1 a IG 9) ao longo do Rio Iguaçu.

Para a realização do monitoramento dos pontos de estudo foram escolhidos os pontos IG2 (-25.484379, -49.180630), cuja área de drenagem engloba regiões com alta densidade demográfica (Knapik, 2014), coletadas nas margens esquerda (Rio Iraí/Palmital) (Figura 2) e direita (Rio Atuba) (Figura 2), e o Canal Paralelo de Água Limpa (CL) (-25.484095, -49.190093). O ponto IG2, margens esquerda e direita, são contemplados pelos rios urbanos, respectivamente, Iraí e Atuba, e apenas 20% do corpo hídrico possui tratamento de esgoto (Knapik, 2014; Fernandes, 2013). Para o monitoramento de campo, foram utilizados dois períodos de monitoramento: 1 coleta realizada em novembro de 2024 e 6 coletas realizadas no período de abril a junho de 2025.

Métodos Analíticos

Os parâmetros determinados para esta pesquisa, no laboratório LABEAM-DHS foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5, Método Respirométrico Oxitop, com 5 dias de incubação), Demanda Química de Oxigênio para concentração <100 mg L⁻¹ (DQO, Método do Refluxo Fechado - Colorimétrico) e Carbono Orgânico Dissolvido (COD, Shimadzu, 2003), conforme descritos no Standard Methods for the Examination of Water and WasterWater (APHA, 2023). Os parâmetros físico-químicos obtidos em campo foram: Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD, Sonda Óptica, em mg L⁻¹), turbidez (NTU), temperatura (°C) e condutividade elétrica (μS cm⁻¹).

Figura 1: Localização do Alto Iguaçu e os pontos de monitoramento IG1 ao IG6. Fonte: Adaptado do Águas do Paraná, Knapik (2014).

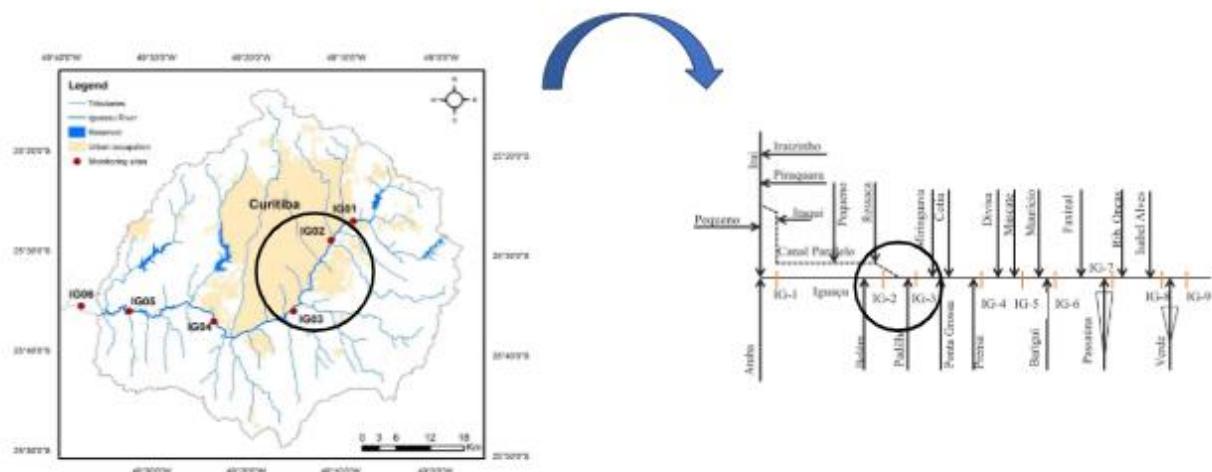


Figura 2: IG2 margens Esquerda e Direita. Fonte: O autor, 2025.

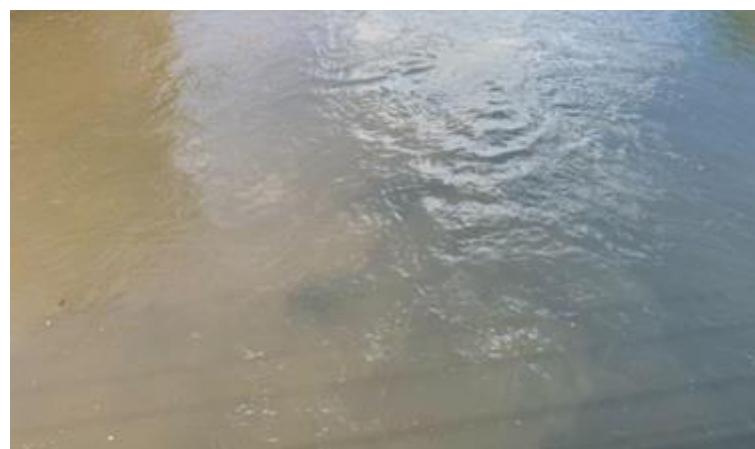


Figura 3: Canal Paralelo de Água Limpa. Fonte: O autor, 2025.



Tabela 1: Sumário com os métodos analíticos e seus limites de detecção dos parâmetros monitorados.

Parâmetros	Método Analítico	Limite de Detecção	Referência
DBO ₅	Respirométrico	0 - 4.000 mg L ⁻¹	5210 B (APHA,2023)
DQO	Colorimétrico	10–150 mg DQO L ⁻¹ : 0 - 4,6 mg L ⁻¹ 100–1500 mg DQO L ⁻¹ : 0 - 16mg L ⁻¹	5220 D (APHA, 2023)
COD	Combustão	0 - 90 mgO ₂ L ⁻¹	5310 B (APHA,2023)

Tabela 2: Sumário com os equipamentos e seus limites de detecção obtidos em situ.

Parâmetros	Sensor	Detalhes
pH	HORIBA	Faixa de medição: 0–14 pH
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	HACH	Faixa de medição: 0–25 mg L ⁻¹ (U-50/Ótica)
Temperatura (°C)	HORIBA	Faixa de medição: –10 °C a +55 °C
Condutividade (10 ⁻⁶ S cm ⁻¹)	HORIBA	Faixa de medição: 0–100 µS cm ⁻¹
Turbidez (NTU)	HORIBA	Faixa de medição: 0–4 NTU (baixo alcance) 0–40 NTU (médio alcance) 0–400 NTU (alto alcance)

RESULTADOS

O presente estudo se refere aos resultados do monitoramento da qualidade de água no período de abril a junho de 2025 (Tabela 1) e novembro de 2024 a junho de 2025 (Tabela 2), no marco zero do Rio Iguaçu, IG2 Direita (Rio Atuba) e IG2 Esquerda (Rio Iraí), e no Canal Paralelo de Água Limpa. Os parâmetros pH, Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$), Temperatura (°C), Turbidez (NTU) e Oxigênio Dissolvido (mg L⁻¹) foram obtidos por medição única in situ. Em contrapartida, os parâmetros DBO (mg L⁻¹), DQO (mg L⁻¹) e COD (mg L⁻¹) foram obtidos em laboratório, por triplicata dos pontos para uma melhor verificação dos resultados. As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores medidos para as três estações de monitoramento de acordo com a metodologia proposta neste artigo.



Tabela 3: pH, Condutividade, Turbidez e Temperatura das amostras de água coletadas entre abril e junho de 2025 no Rio Iguaçu.

DIAS	DATA	pH			Condutividade			Temperatura (°C)			Turbidez (NTU)		
		IG 2 D	IG 2 E	CL	IG 2 D	IG 2 E	CL	IG 2 D	IG 2 E	CL	IG 2 D	IG 2 E	CL
1	10/04/2025	7,4	8,0	7,7	384,0	191,0	94,0	22,8	22,6	23,4	36,4	41,3	22,4
2	13/05/2025	6,5	7,0	7,2	595,0	297,0	69,0	21,4	20,7	21,0	37,0	37,0	23,8
3	20/05/2025	7,3	7,6	7,4	635,0	307,0	64,0	24,2	23,7	23,0	37,3	59,0	18,0
4	27/05/2025	7,4	7,8	7,7	564,0	318,0	124,0	22,1	21,4	21,8	29,5	29,5	25,6
5	03/06/2025	7,5	7,6	8,0	325,0	296,0	78,0	18,9	18,7	18,7	100,0	155,0	36,9
6	10/06/2025	7,6	7,8	7,7	200,0	291,0	89,0	17,2	17,8	15,6	76,6	70,5	36,3
Média		7,4	7,7	7,7	474,0	296,5	83,5	21,7	21,0	21,4	37,2	50,2	24,7
DP		0,4	0,4	0,3	173,6	46,2	21,7	2,6	2,2	3,0	28,6	46,4	7,7
Máx		7,6	8,0	8,0	635,0	318,0	124,0	24,2	23,7	23,4	100,0	155,0	36,9
Mín		6,5	7,0	7,2	200,0	191,0	64,0	17,2	17,8	15,6	29,5	29,5	18,0
Mediana		7,4	7,7	7,7	474,0	296,5	83,5	21,7	21,0	21,4	37,2	50,2	24,7

Tabela 4: DBO, DQO, Oxigênio Dissolvido e COD das amostras de água coletadas entre novembro de 2024 e junho de 2025 no Rio Iguaçu.

DIAS	DATA	DBO (mg/L)			DQO (mg/L)			OD (mg/L)			COD (mg/L)		
		IG 2 D	IG 2 E	CL	IG 2 D	IG 2 E	CL	IG 2 D	IG 2 E	CL	IG 2 D	IG 2 E	CL
1	19/11/2024	25,0	25,0		106,1	106,1		3,3	3,3		33,0	33,0	
2	10/04/2025	11,2	4,7	0,5	30,6	25,9		3,9	4,0	4,9			
3	13/05/2025	40,7	10,7	1,6	40,3	47,7	2,9	1,6	1,9	4,4			
4	20/05/2025	68,0	23,3	4,1	98,3	51,7	8,9	3,6	1,6	6,1	35,8	10,9	5,7
5	27/05/2025	36,0	2,3	10,3	66,3	25,9	44,9	3,7	2,3	3,7			
6	03/06/2025	44,8	58,5		92,8	85,7	27,0	0,9	0,8	6,0	11,5	12,6	7,0
7	10/06/2025	4,0	14,0	2,0	20,8	34,1	27,0	5,9	6,4	6,1			
Média		32,8	19,8	2,6	65,0	53,9	15,8	3,3	2,9	4,5	11,5	8,1	1,8
DP		21,6	19,1	3,9	34,9	30,9	16,7	1,6	1,9	1,0	13,3	12,3	1,0
Máx		68,0	58,5	10,3	98,3	85,7	44,9	5,9	6,4	6,1	35,8	12,6	7,0
Mín		4,0	2,3	0,5	20,8	25,9	2,9	0,9	0,8	3,7	11,5	10,9	5,7
Mediana		38,3	12,3	2,0	53,3	40,9	27,0	3,7	2,1	5,5	23,6	11,8	6,3

Obs: as células em branco os valores não foram determinados por questões analíticas.

Os gráficos das Figuras 5 a 7 demonstram individualmente como se comporta a variação temporal dos parâmetros medidos in situ e em laboratório de novembro de 2024 a junho de 2025, podendo ser observados diferentes cenários de qualidade da água. As cores azul, vermelho e amarelo são referentes, respectivamente, aos pontos IG2D, IG2E e CL.

Figura 4: Variação temporal dos valores obtidos de pH e Condutividade.

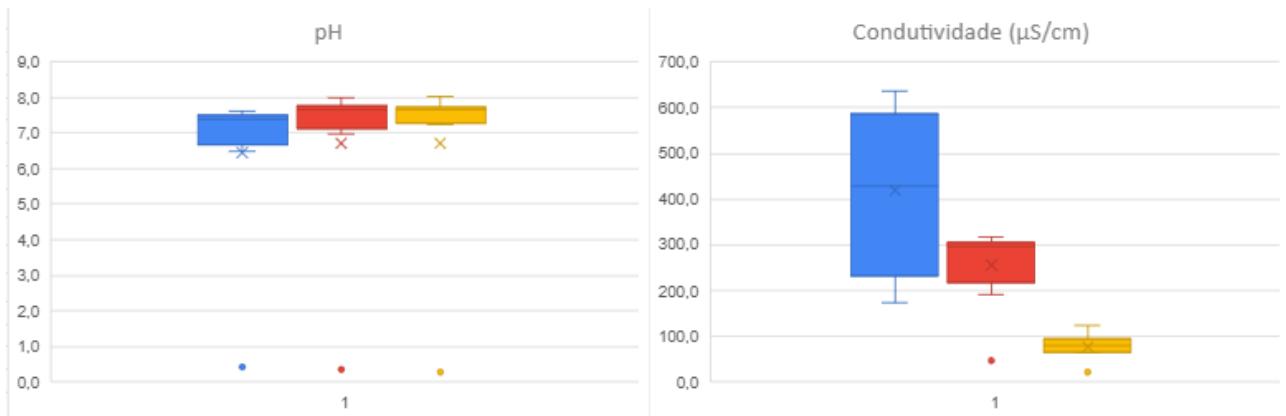


Figura 5: Variação temporal dos valores obtidos de temperatura e turbidez.



Figura 6: Variação temporal das concentrações de DBO e DQO.

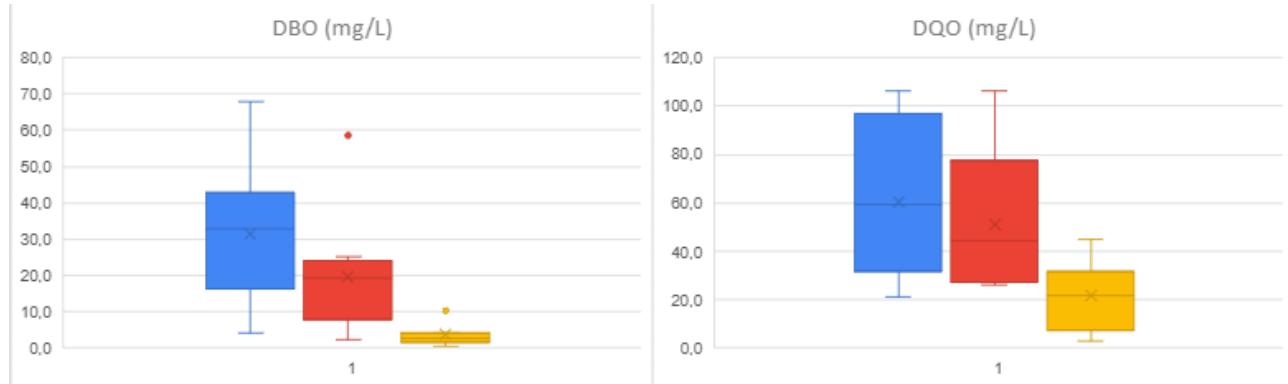
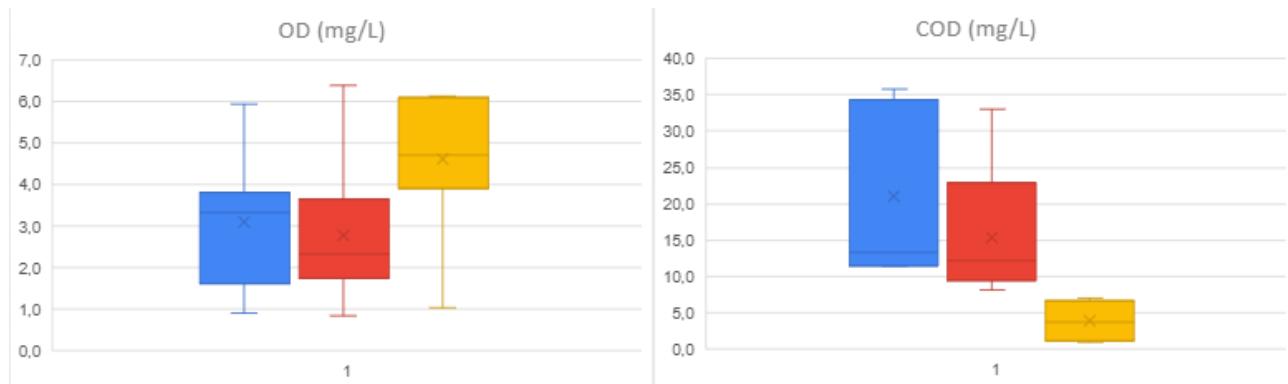


Figura 7: Variação temporal das concentrações de OD e COD.



Nos pontos IG2D e IG2E assumem medianas de DBO de 35 mg L^{-1} e 20 mg L^{-1} , respectivamente, e 2 mg L^{-1} no CL. As medianas de DQO foram de 53 mg L^{-1} (IG2D) e 40 mg L^{-1} (IG2E) e 27 mg L^{-1} (CL). As medianas de COD foram de $23,6 \text{ mg L}^{-1}$ (IG2D) e $11,8 \text{ mg L}^{-1}$ (IG2E) de mediana e $6,3 \text{ mg L}^{-1}$ (CL) e OD ($3,7 \text{ mg L}^{-1}$ (IG2D) e $2,1 \text{ mg L}^{-1}$ (IG2D) de mediana e $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ no CL) à medida que os rios Iraí e Palmital/Atuba se unem formando um só, Rio Iguaçu, e ingressa em Curitiba e RMC,

manifestando a influência das áreas densamente habitadas que esses afluentes cortam e recebendo altas cargas de poluentes.

Do ponto de vista de evolução na poluição orgânica, de maneira muito interessante, no ponto IG2D, as medianas de cargas aumentam até um valor de $26,3 \text{ mg L}^{-1}$ de COD, como mostra a tabela 3, indicando aumento do aporte de cargas orgânicas vindo diretamente do Rio Palmital/Atuba, com destaque no funcionamento da ETE Atuba e seus efluentes. Deste modo, pode-se afirmar que a qualidade da água piora como apresentado na Tabela 4, com as amostras que refletem pior qualidade na margem direita do rio e as que refletem melhor qualidade, com pouca diferença, na margem esquerda.

Em geral, o ponto de monitoramento Canal de Água Limpa possui os menores valores quando se trata de pH, condutividade e turbidez e poluição orgânica, demonstrando a eficiência da infraestrutura criada no Rio Iguaçu, porém seus valores não indicam uma alta eficiência em relação a qualidade da água, como mostrado nas medianas de cargas orgânicas. Deste modo, destaca-se e ratifica-se a importância do monitoramento desta área.

CONCLUSÃO

Esse trabalho foi desenvolvido admitindo o papel da infraestrutura hídrica, Canal de Água Limpa (CL), implementado na década de 90, e os efeitos das cargas de matéria orgânica presentes nos corpos hídricos, para os parâmetros monitorados na Bacia do Alto Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba, nos pontos IG 2, margens esquerda e direita (IG 2D e IG 2E), e Canal de Água Limpa (CL).

Através dos gráficos de carga compila-se melhor o aporte de poluentes na bacia hidrográfica. Diante dos box-plots de concentração, se torna evidente que no marco zero do Rio Iguaçu, IG 2, há uma quantidade de matéria orgânica maior, com destaque na margem direita, entretanto, ambas as margens demonstram em seus resultados (Tabela 2) uma perda progressiva da qualidade da água. No que se refere aos resultados obtidos no Canal Paralelo de Água Limpa, destaca-se a necessidade de consolidar informações complementares que permitam aprofundar a análise da presença de matéria orgânica, particularmente em função dos valores de DQO observados.

Estas análises abordadas só puderam ser realizadas, como consequência da integração qualidade da água e infraestrutura eficiente. Estes resultados, como mostrado nos box-plots, permitiram uma avaliação mais descriptiva e crítica para a Bacia do Alto Iguaçu que ainda não tinha se iniciado na região de estudo. Portanto, torna-se fundamental a continuidade sistemática, de preferência semanal como feito nesta pesquisa, das campanhas de monitoramento da qualidade da água no marco zero do Rio Iguaçu, com o objetivo de ampliar a base de dados e fortalecer a representatividade estatística do comportamento da matéria orgânica ao longo do Alto Iguaçu, como a inclusão do parâmetro de precipitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica do 1º autor e Bolsa produtividade em pesquisa do 3º autor.

REFERÊNCIAS

ABRHidro - ANAIS - Integração De Quantidade E Qualidade Da Água Em Gestão Dos Recursos Hídricos: Um Olhar Crítico Sobre A Bacia Do Alto Iguaçu.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater, 20^a ed. Washington, DC. 1325 p. 2000.

COALIAR, Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira. Resolução nº 04/2013. Curitiba, 2013.

KOZAK, C.; FERNANDES, C.V.S.; BRAGA, S.M.; PRADO, L.L.P.; FROEHNER, S.; HILGERT, S. (2019). "Water quality dynamic during rainfall episodes: integrated approach to assess diffuse pollution using automatic sampling". Environmental Monitoring and Assessment 191, 402.

KNAPIK, H (2014). "ORGANIC MATTER CHARACTERIZATION AND MODELING IN POLLUTED RIVERS FOR WATER QUALITY PLANNING AND MANAGEMENT." Dissertação (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LEITHOLD, J. (2017). "Variabilidade espacial e temporal da matéria orgânica no ecossistema aquático nas bacias hidrográficas do alto e médio Iguaçu." Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO (Paraná). 2000. Plano de despoluição hídrica da bacia do Alto Iguaçu. Curitiba.

VON SPERLING, M. "Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos". 3.ed. Minas Gerais: DESA/UFMG, 2005. 452 p.