

Aspectos climatológicos da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e as implicações do aumento da temperatura na realização da análise

Climatological aspects of the Biochemical Oxygen Demand (BOD) and the implications of the increase in temperature in carrying out the analysis

Aspectos climatológicos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y las implicaciones del aumento de temperatura en la realización del análisis

Recebido: 21/08/2021 | Revisado: 25/08/2021 | Aceito: 27/08/2021 | Publicado: 29/08/2021

Ana Carla Casagrande Poersch

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3481-1376>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: ana.poersch96@gmail.com

Nyamien Yahaut Sebastien

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1144-7903>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: nyamien@hotmail.com

Resumo

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um dos parâmetros chave para determinação da qualidade de um ambiente aquático perante as concentrações de materiais orgânicos distribuídos na coluna d'água. O método tradicional (DBO₅₂₀) apresenta grandes entraves, porém o maior deles é o tempo necessário para obtenção dos resultados e a subsequente aplicação de medidas mitigatórias em possíveis ambientes impactados. O clima temperado, encontrado nos países europeus, foi o principal responsável pela definição da temperatura de 20°C e dos 5 dias de incubação para concluir a análise. Contudo, países tropicais apresentam dinâmicas climáticas completamente diferentes, tornando essencial a existência de métodos que se adequem as condições impostas pelo ambiente. Dessa forma, neste estudo, buscou-se reduzir o tempo de determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio, de acordo com as condições climáticas de países tropicais, conseqüentemente elevando a temperatura (25°C; 28°C) de incubação das alíquotas. Os resultados demonstraram a efetividade da mudança para as temperaturas de incubação à 28°C ($p=0,941$; $f=0,07$) para 3 dias, corroborando de forma simples e concisa que o aumento de temperatura pode ser aplicado para a realização do método em ambientes tropicais.

Palavras-chave: DBO; Temperatura; Qualidade de água.

Abstract

Biochemical Oxygen Demand (BOD) is one of the key parameters for determining the quality of an aquatic environment in view of the concentrations of organic materials distributed in the water column. The traditional method (DBO₅₂₀) presents major obstacles, but the biggest one is the time needed to obtain the results and the subsequent application of mitigation measures in possible impacted environments. The temperate climate, found European countries, was primarily responsible for the 20°C temperature setting and the 5 days of incubation to complete the analysis. However, tropical countries have completely different climatic dynamics, making it essential to have methods that suit the conditions imposed by the environment. Thus, in this study, we sought to reduce the time for determining the Biochemical Oxygen Demand, according to the climatic conditions of tropical countries, consequently raising the temperature (25°C; 28°C) of the incubation rates. The results demonstrated the effectiveness of the change to the incubation temperatures at 28°C ($p = 0.941$; $f = 0.07$), demonstrating in a simple and concise way that the temperature increase can be applied to carry out the method in tropical environments.

Keywords: BOD; Temperature; Water quality.

Resumen

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es uno de los parámetros clave para determinar la calidad de un medio acuático en vista de las concentraciones de materiales orgánicos distribuidos en la columna de agua. El método tradicional (DBO₅₂₀) presenta grandes obstáculos, pero el mayor es el tiempo necesario para obtener los resultados y la posterior aplicación de medidas de mitigación en posibles ambientes impactados. El clima templado, encontrado en los países europeos, fue el principal responsable de la definición de la temperatura de 20°C y de los 5 días de incubación para concluir el análisis. Sin embargo, los países tropicales tienen dinámicas climáticas completamente diferentes, por lo que es fundamental contar con métodos que se adapten a las condiciones impuestas por el medio ambiente. Así, en

este estudio se buscó reducir el tiempo de determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, de acuerdo con las condiciones climáticas de los países tropicales, elevando consecuentemente la temperatura (25°C; 28°C) de las tasas de incubación. Los resultados demostraron la efectividad del cambio a temperaturas de incubación a 28 ° C ($p = 0.941$; $f = 0.07$) durante 3 días, confirmando de manera simple y concisa que el aumento de temperatura se puede aplicar para realizar el método en ambientes tropicales.

Palabras clave: DBO; Temperatura; Calidad del agua.

1. Introdução

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é uma das análises chave responsáveis por demonstrar de forma prática e objetiva a qualidade de um sistema, sendo considerada como uma medida direta da carga orgânica de sistemas aquáticos. As concentrações de oxigênio dissolvido no primeiro dia e no quinto dia são utilizadas para estimar o material orgânico degradado por microrganismos aeróbicos, como parte de seus processos metabólicos essenciais em um certo período (PND, 2015; APHA, 2017). Quanto mais elevadas as concentrações de material orgânico, menores os valores de oxigênio disponíveis ao meio, levando à perda de biodiversidade e a degradação de ambientes aquáticos (Ferreira et al., 2017), prejudicando os usos primordiais da água.

A DBO convencional (5 dias, 20°C) é uma técnica controlada de tempo e consumo, baseada no tempo de consumo de organismos aeróbicos em uma temperatura constante. Do ponto de vista de Guo e Liu (2020) existem grandes entraves na metodologia, relacionados principalmente a falha em reproduzir resultados rápidos ou em tempo real. Além disso, a falta de uniformização de comunidades bacterianas e temperaturas que não se adequam a diferentes ambientes fornecem variações significativas nos resultados (Guyard, 2010) (Guo et al., 2021).

A quantificação da Demanda Bioquímica de Oxigênio é de extrema importância para muitas empresas e órgãos ambientais que comumente encontram-se em situações emergenciais (como acidentes ambientais) que requerem tomadas de decisões operacionais rápidas e eficazes, tornando necessária a quantificação da demanda bioquímica de oxigênio em períodos de tempo menores do que os cinco dias estipulados pela metodologia tradicional.

O clima temperado encontrado em países europeus foi o principal responsável pela definição da temperatura de 20°C para a realização do método. Em 1909, Phelps concluiu a partir de estudos com o Rio Tâmisa (346 km), que o período de autodepuração completava-se um prazo médio de cinco dias, desde a nascente até a foz, em um ambiente com temperatura média de 20° C (condições baseadas em um verão quente da Grã-Bretanha do século XX) (Oliveira, 2015).

Contudo, a dinâmica climática de cada região difere significativamente devido as variações na constante solar e na órbita da Terra (UFPR, 2020; Fiocruz, 2020). O Brasil apresenta um clima subtropical úmido e mesotérmico, com estações de verão e inverno bem definidas. Em média, as temperaturas no mês mais quente ultrapassam os 22°C, atingindo ainda médias acima dos 30°C, superando de forma expressiva as temperaturas encontradas na atual Inglaterra.

Segundo Van't Hoff e Arrhenius (1915) as elevações de temperatura levam ao aumento da velocidade das reações químicas. Consequentemente, aplicando à teoria aos processos biológicos, a elevação da temperatura promoveria o aumento da atividade enzimática dos microrganismos autóctones, aumentando exponencialmente as taxas de crescimento e de consumo, reduzindo o tempo final da reação.

Dessa forma, este estudo busca avaliar o efeito da temperatura no tempo necessário para determinar a Demanda Bioquímica de Oxigênio, de acordo com as condições climáticas de países tropicais. Comprovada a influência da temperatura no tempo necessário para obter resultados, contribui-se de forma significativa para os avanços da técnica. Além disso, solucionam-se problemas relacionados ao tratamento de água, facilitando e encurtando o tempo necessário para a tomada de decisão. Dessa forma, mitigar possíveis problemas relacionados torna-se menos custoso, com benefícios incalculáveis para o meio ambiente e todos os usuários.

2. Metodologia

A pesquisa é de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018) e gerou uma quantidade considerável de dados analíticos, possibilitando uma análise com alta acurácia. O presente artigo encaixa-se em uma categoria de Estudo de Caso (EC), trabalhando um fenômeno relevante e de grande interesse para órgãos de fomento e de pesquisa.

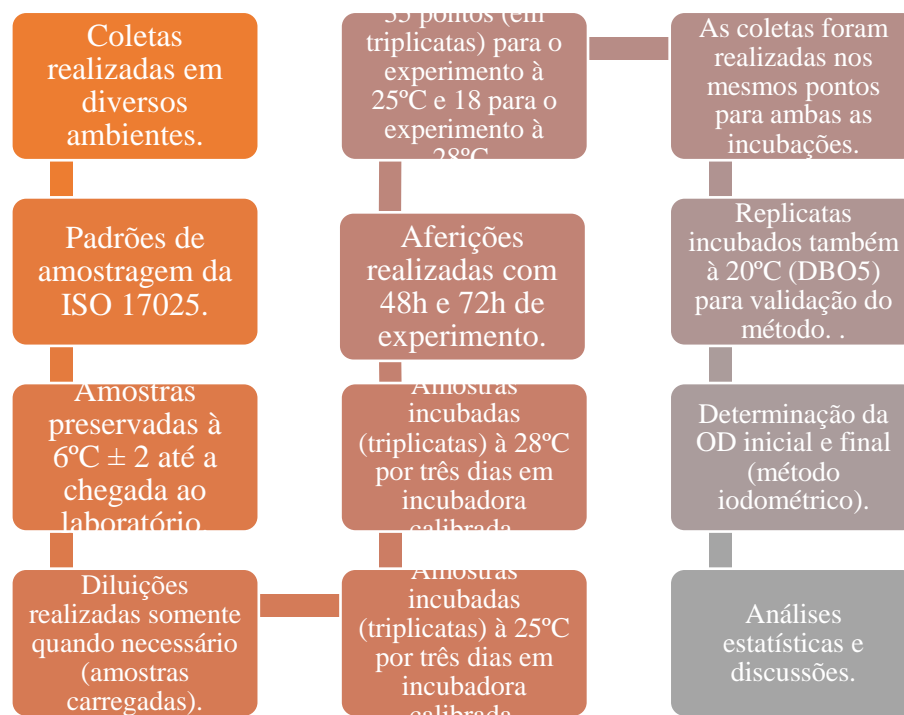
A DBO é de extrema importância e amplamente discutida mundialmente (Poersch et al., 2021), porém as modificações e discussões propostas por este trabalho não são amplamente trabalhadas, sendo assim seguem um padrão de ideias desenvolvido com extensa coleta de dados e leitura.

2.1 Modificações propostas na análise

As escolhas das temperaturas foram baseadas nas temperaturas médias do ar ao longo de todo o ano (2020), obtidas na estação meteorológica do InPAA (Instituto de Pesquisa em Aquicultura Ambiental), com aferições de temperatura do ar realizadas com regularidade (de 2h em 2h). Em posse destes dados, foi possível realizar uma média das temperaturas encontradas em cada estação do ano e propor este estudo, buscando o efeito da temperatura no tempo de análise.

Para iniciar os experimentos e incubações à 25°C foram realizadas 7 coletas de 5 litros de água de rios, como os da bacia Baixo Iguaçu, Rio São Francisco Verdadeiro, Rio Marreco, Rio Tibagi e Rio Ijuí. Todas as coletas foram realizadas pelo Laboratório de Qualidade de Água e Limnologia do INEO/GERPEL (Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais/ Grupo de Pesquisas em Recursos Pesqueiros e Limnologia), e seguiram o padrão estipulado pela ISO/IEC 17025. As amostras foram coletadas e preservadas em caixas térmicas com temperatura controlada de $6^{\circ}\text{C} \pm 2$, até a chegada ao laboratório, visando promover resultados confiáveis e comparáveis. Os pontos de amostragem foram escolhidos buscando englobar ambientes heterogêneos e reais ao experimento, dessa forma foram analisados 35 pontos de coleta para as incubações à 25°C (Figura 1).

Figura 1. Esquema detalhando a metodologia de coleta e análise.



Fonte: Autores.

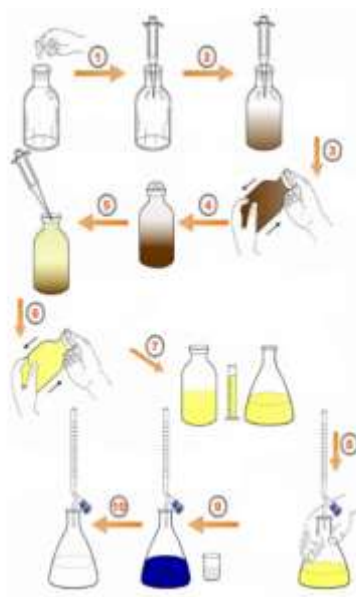
Seguindo os mesmos pressupostos, foram realizadas mais 7 coletas de 5 litros de água nos mesmos ambientes citados anteriormente, porém somente 18 pontos de coleta foram selecionados para as incubações à 28°C. Previamente após a coleta as amostras foram submetidas ao processamento de diluição (quando necessário) e envase. As alíquotas diluídas seguiram um padrão 1/1 (150 ml de amostra e 150 ml de água de diluição) e 1/3 (75 ml de amostra e 225 ml de água de diluição) (APHA, 2017). Sendo assim, foram realizadas aferições com 48 e 72 horas de experimento respectivamente.

Para ambas as temperaturas foram incubadas 3 alíquotas em cada ponto, além da incubação tradicional de 2 alíquotas como controle (20°C).

Inicialmente foi realizada a determinação do oxigênio dissolvido (OD) inicial (APHA, 2017) (Figura 1). Em cada coleta foram transferidas cerca de 150 ml de amostra e 150 ml de água de diluição para 12 frascos de incubação (frascos de Winkler), 2 desses frascos foram utilizados para determinar o OD inicial dentro de 30 minutos. Os demais frascos foram incubados com parâmetros previamente definidos, para determinar a OD final.

As análises foram realizadas empregando-se o método Iodométrico (Figura 2), pela praticidade disposta pelo Laboratório de Qualidade de Água e Limnologia do INEO/GERPEL. Para garantir o controle dos resultados seguiu-se um padrão de controle de qualidade (CQ). Sem os resultados de CQ e das amostras, a confiança nos resultados dos testes analíticos é mínima. Medidas de CQ essenciais para a realização das análises de DBO incluem a calibração do método, padronização de reagentes, calibração de equipamentos e duplicatas (em 5% das amostras) para cada experimento realizado. Todas as medidas de CQ citadas foram seguidas para obtenção de dados com confiança analítica e estatística.

Figura 2. Método Iodométrico para determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio.



Fonte: Instituto (2014).

2.2 Análises estatísticas

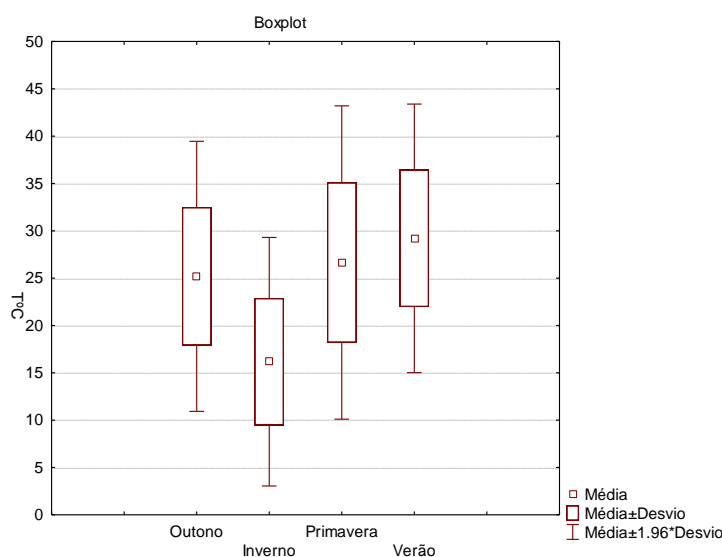
Para a verificação inicial e análise estatística dos experimentos realizados, foram utilizados os softwares Mini Tab e Statistica. Inicialmente, foram calculadas as médias encontradas entre as alíquotas. Posteriormente, os desvios padrões e os erros relativos dos conjuntos de dados. Seguindo os pressupostos de independência, aleatoriedade e normalidade dos conjuntos de dados, os mesmos foram analisados com o teste T pareado. O teste T pareado é extremamente útil para analisar um mesmo conjunto de dados que foram submetidos a duas condições diferentes. Além disso, as médias dos tratamentos foram comparadas por meio do Teste de Tukey. O nível de significância foi de 5% ($p = 0,05$).

3. Resultados e Discussão

3.1 Variações de temperatura na região

Em média, a temperatura no inverno foi de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Outono e primavera apresentaram médias similares ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) e o verão destacou-se por temperaturas elevadas ($28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) (Gráfico 1). A temperatura do ar é frequentemente utilizada como uma variável preditiva em modelos de regressão da temperatura da água, por ser um componente importante em cálculos relacionados as mudanças líquidas do fluxo de calor na superfície d'água, além de (Webb et al., 2003; Webb et al., 2008). Dessa forma, pressupõem-se uma forte correlação entre as temperaturas da água e do ar (Van Vliet et al., 2011).

Gráfico 1. Temperaturas mínimas, máximas, médias \pm desvio padrão verificadas para cada estação (n=600).



Fonte: Autores.

Dessa forma, a proposta de modificação das temperaturas de incubação foi aplicada para o outono e primavera simultaneamente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), enquanto a temperatura de incubação no verão foi mantida em $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. As alterações não foram propostas para o inverno porque a média encontrada coincide com a temperatura de incubação tradicional da metodologia.

3.2 Análises estatísticas

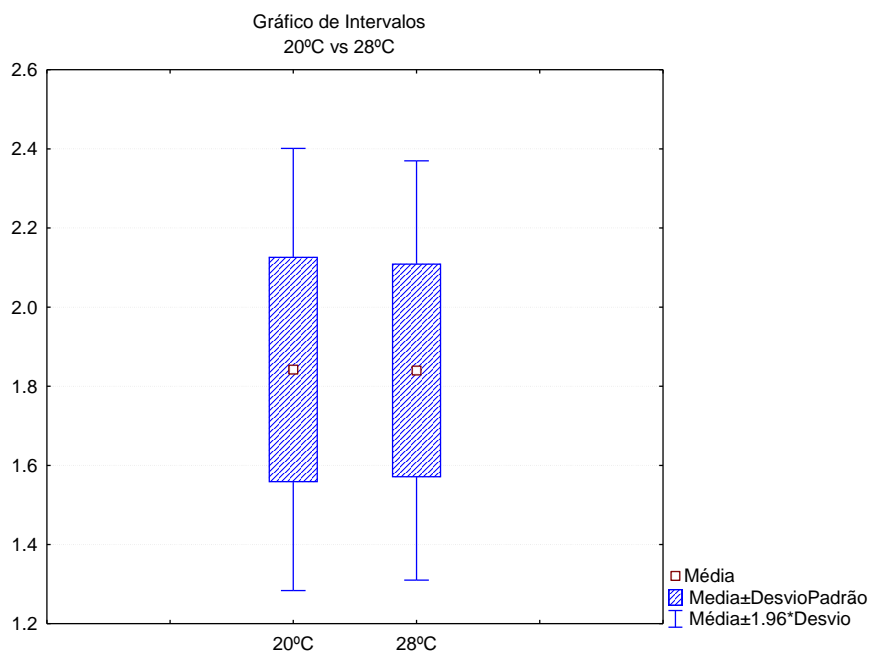
Os melhores resultados foram encontrados com amostras incubadas à 28°C , demonstrando com um teste simples e robusto que o aumento de temperatura não interfere no resultado final da análise ($t= 0,07$; $p= 0,941$), e reduz o tempo para 3 dias de incubação. Os resultados comprovaram a efetividade ou o efeito da mudança da temperatura para as amostras incubadas à 28°C (Tabela 1) (Gráfico 2).

Tabela 1. Estatísticas Descritivas referentes ao teste T pareado para os tratamentos de 20°C e 28°C respectivamente.

| Amostra | N | Desvio | |
|-----------------------------------|----|--------|--------|
| | | Média | Padrão |
| DBO 20°C (5DIAS) | 16 | 1.842 | 1.140 |
| DBO 28°C (3 DIAS) | 16 | 1.840 | 1.081 |

Fonte: Autores.

Gráfico 2. Gráfico de Intervalos com o plot de médias e intervalos de confiança (95%) para os tratamentos de 20°C e 28°C.



Fonte: Autores.

Os resultados mostraram-se insatisfatórios quanto as amostras incubadas à 25° ($t = -2,33$; $p = 0,033$), demonstrando que as diferenças encontradas entre os diferentes tratamentos foram significativas (Tabela 2).

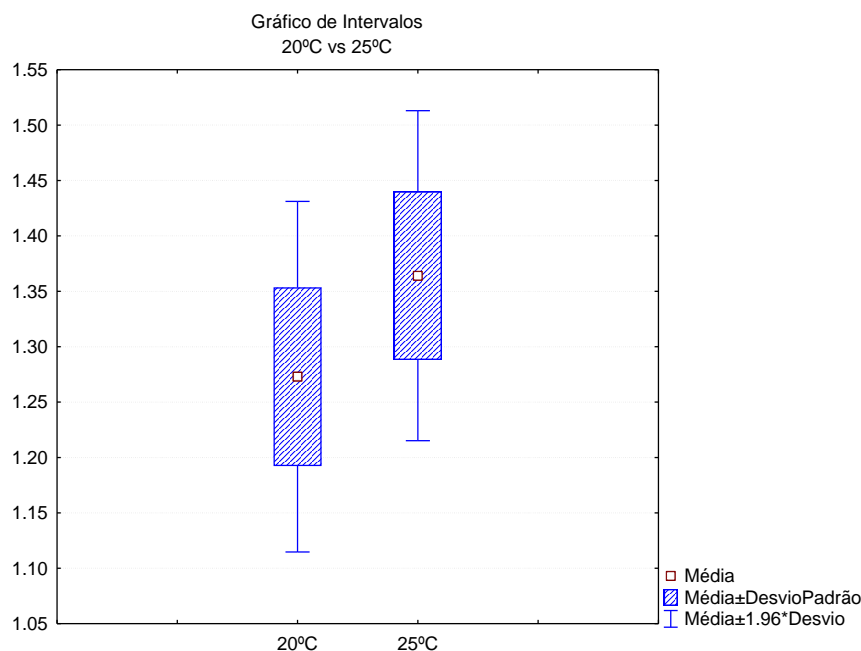
Tabela 2. Estatísticas Descritivas referentes ao teste T pareado para os tratamentos de 20°C e 25°C respectivamente.

| Amostra | N | Média | Desvio Padrão | EP Média |
|-------------------|----|--------|---------------|----------|
| DBO 20°C (5 DIAS) | 34 | 1.2729 | 0.4707 | 0.0807 |
| DBO 25°C (3DIAS) | 34 | 1.3641 | 0.4432 | 0.0760 |

Fonte: Autores.

Uma das causas das diferenças encontradas pode estar relacionada ao tempo de incubação. Como esperava-se reduzir o tempo de análise em até dois dias, o aumento de 5°C pode não ter sido suficiente. Caso as amostras permanecessem incubadas por mais um dia, as diferenças seriam menores (Gráfico 2), adequando-se aos resultados obtidos pelo controle (20°C). Contudo, segundo Jouanneau et al., (2019), o tempo de retenção da água em estações de tratamento (ETAs) é de cerca de 3 dias, dessa forma tornaria-se inviável realizar os testes finais no quarto dia de incubação.

Gráfico 3. Gráfico de Intervalos com o plot de médias e intervalos de confiança (95%) para os tratamentos de 20°C e a 25°C.



3.3 Implicações das mudanças de temperatura na análise

Estudos conduzidos com a ampliação da faixa de temperatura do método já mostravam-se promissores há alguns anos (Chaudhari et al., 1992). O controle estático de temperatura não é mais utilizado pela Bureau Of Indian Standards (BIS), agência governamental indiana responsável por atividades de normalização e certificação de qualidade. A agência trabalha com uma temperatura de 27°C e 3 dias de análise desde 1993. A modificação foi sugerida e implementada pela nota técnica publicada no ano anterior (Chaudhari et al., 1992).

A alterações propostas pelo presente trabalho são semelhantes as descritas por Chaudhari et al., 1992, demonstrando a efetividade do método em ambientes tropicais. Ao constatar que as médias encontradas entre os tratamentos são semelhantes ($p > 0,05$), aponta-se de forma simples e concisa a eficácia do método perante mudanças de temperatura, concluindo que o controle estático fixado em 20°C pela metodologia tradicional pode ser modificado.

Com essa constatação e a conseqüente redução do tempo de análise, permite-se a obtenção de resultados viáveis sem comprometer a confiabilidade dos dados, adquirindo de forma prática uma alternativa para agilizar a tomada de decisão, reduzindo o tempo de espera de 5 (DBO520) para 3 dias (DBO328).

Este resultado comprova as teorias de Van't Hoff (1984) e Arrhenius (1915) (aumento da temperatura em 10° C duplica a velocidade das reações). Estes resultados indicam que valores acima de 28° C, isto é, a 30° e a 40° C torna-se provável que o tempo de determinação da DBO seja ainda menor. Porém, para trabalhar e reproduzir resultados em temperaturas mais elevadas o conhecimento das comunidades microbiológicas presentes na amostra é essencial, afim de conhecer as temperaturas ótimas de crescimento e consumo.

Alguns estudos desenvolvidos com efluentes já demonstraram a eficiência do aumento da temperatura na obtenção de resultados (Matos et al., 2014; Matos et al., 2017; Mueller et al., 2018). Contudo, fontes correlacionadas a rios e riachos são escassas, restringindo a discussão dos resultados.

O Brasil conta com uma pequena gama de legislações que incluem a DBO como um dos parâmetros que constantemente devem ser testados, para determinar o estado físico e químico de um corpo d'água. A Resolução, n. 357 - CONAMA, de 17 de

março de 2005 é uma ferramenta de controle e busca enquadrar corpos d'água em diferentes classes, de acordo com as condições de qualidade aptas à diferentes formas de uso e consumo. Os corpos d'água continentais passam por avaliação criteriosa e são distribuídos entre cinco classes, sendo as classes especial, um, dois e três destinadas ao abastecimento humano. A classe especial, a classe um e a classe dois buscam a preservação dos ecossistemas e das comunidades. As demais são destinadas à irrigação, recreação, aquicultura e navegação (BRASIL, 2005, p. 4).

A resolução mencionada dispõe de diversos parâmetros para o controle e a manutenção da qualidade da água, porém, as concentrações de material orgânico variam constantemente e, as taxas de consumo de oxigênio modificam-se de acordo com os dias, tornando o monitoramento ambiental regular uma ferramenta de extrema importância. Ao diminuir o tempo de análise e medir as concentrações de oxigênio dissolvido no primeiro e no último dia com o uso de eletrodos convencionais ou do próprio método de iodométrico, as vantagens aumentam.

Apesar dos resultados demonstrarem que o efeito da temperatura na análise pode trazer inúmeros benefícios, a determinação da DBO é padronizada por uma Organização Internacional de Normalização. A ISO é seguida de forma incontestável por inúmeros países, tornando inviável a aplicação de mudanças em laboratórios que operem de acordo com o sistema de qualidade estabelecido. Contudo, as aplicações em laboratórios de pesquisa podem ser replicadas, buscando validação do método perante órgãos de controle.

Nesse caso, a implementação de mudanças necessita de viés econômico. Ao possibilitar um monitoramento ambiental mais preciso e frequente (3 dias de espera), as medidas mitigatórias para possíveis impactos podem ser tomadas com mais rapidez, evitando prejuízos sociais e econômicos a toda a extensa cadeia de consumidores de água, de forma direta ou indireta, evitando gastos desnecessários e contribuindo para a manutenção de um ambiente saudável.

4. Conclusão

O aumento da temperatura mudança diminui o período de incubação e produz resultados semelhantes aos da metodologia tradicional para rios e riachos. Dessa forma, o teste DBO328 pode ser utilizado em países tropicais de forma segura, sem comprometimento dos dados.

As dificuldades para a implementação de mudanças em uma metodologia tradicional são enormes, porém laboratórios de pesquisa e estações de tratamento podem replicar o teste para validar o método perante as autoridades competentes.

Ao reduzir o tempo de espera necessário para completar a análise poupa-se dinheiro e evita-se futuros prejuízos ambientais causados pelas diversas fontes de poluição. Qualificar um ambiente em menos tempo torna os dados mais fiéis e precisos ao verdadeiro estado de um sistema aquático.

Órgãos ambientais e instituições de pesquisa necessitam de métodos mais rápidos e eficazes para melhor gerenciar ambientes e estações de tratamento. Implantar novas metodologias e melhorar a qualidade do monitoramento ambiental é um dos papéis da universidade, o que torna a pesquisa sobre novos métodos extremamente necessária.

Instituições como o IAT e a CETESB devem trabalhar em conjunto com pesquisadores, aumentando a confiabilidade das mais diversas tecnologias e metodologias em desenvolvimento, corroborando de forma indireta com o equilíbrio do sistema ao trabalhar em prol do meio ambiente.

Como a DBO é uma análise extremamente complexa, estudos envolvendo os demais interferentes também tornam-se necessários para modificar e melhorar a performance da análise. Além disso, sugere-se o desenvolvimento de mais trabalhos voltados as modificações de temperatura em países tropicais, em uma constante busca por resultados comparáveis e discutíveis, que desafiem órgãos de fomento a utilizarem ou deliberem sobre essas mudanças metodológicas no Brasil.

Referências

- Arrhenius, S. (1915). *Quantitative Laws in Biological Chemistry*. Belland Sons, Londres.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR ISO/IEC 17025: *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibração*. Rio de Janeiro.
- Brasil. (2005). Resolução n.357 - CONAMA, de 17 de março de 2005. *Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional*. Diário Oficial da União, Brasília.
- Chaudhari, N., Tyagi, P. C., Niyogi, N., Thergaonkar, V. P., & Khanna, P. (1992). BOD test for tropical countries. *Journal of Environmental Engineering*, 118 (2), 298–303.
- Eaton, A., Franson, M., Association, A., Association, A., & Federation, W. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23 ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Ferreira, A. R. L., Sanches Fernandes, L. F., Cortes, R. M. V., & Pacheco, F. A. L. (2017). Assessing anthropogenic impacts on riverine ecosystems using nested partial least square regression. *Science of the Total Environment*, 583, 466–477.
- Fiocruz. (2020). *Estações do Ano*. <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/estacoes-ano.html>>.
- Guyard, C. (2005). DBO5: un paramètre qui monte. *L' Eau, l'industrie, les nuisances*, 334, 51-58.
- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 5815-1: Water quality — Determination of biochemical oxygen demand after n days (BODn)*.
- Indian Standard. (1993). *IS 3025-44: Methods of Sampling and Test (physical and chemical) for Water and Wastewater, Part 44: Biochemical Oxygen Demand (BOD)*.
- Instituto Tecnico E. Fermi. (2014). *Water Pollution in Urban Areas: Analysis and Treatment*. *Educhimica*. <<http://www.educhimica.it/COMENIUS/document/COMENIUS%20-%20OD.pdf>>.
- Jouanneau, S., Grangé, E., Durand, M.-J., & Thouand, G. (2019). Rapid BOD assessment with a microbial array coupled to a neural machine learning system. *Water Research*, 166.
- Matos, M. P. B., Matos, A. C. S., da Silva, A. T., Silva, E. F., & Martinez, M. A. (2014). Effect of time-temperature binomial in obtaining biochemical oxygen demand of different wastewaters. *Eng. Agríc.*, 34 (2), 332-340. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000200014>.
- Matos, M. P. B., Matos, A. C. S., da Silva, A. T., Silva, E. F., & Martinez, M. A. (2017). Modelagem da progressão da DBO obtida na incubação de esgoto doméstico sob diferentes temperaturas. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22 (5), 821-828. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017101993>.
- Muller, M., Alison, Y., Guérin-Rechdaoui, S., Bellaton, S., & Rocher, V. (2018). Development and validation of an alternative method for measurement of biochemical oxygen demand in municipal wastewater - Enverdi® BOD. In: *Innover Dans Les Pratiques De Monitoring Et d'exploitation Des Stations d'épuration - Enseignements scientifiques et techniques tirés de la phase I du programme (2014-2017)*. Astee.
- Oliveira, M. A. (2015). *Desafios e perspectivas para a recuperação da qualidade das águas do Rio Tietê na Região Metropolitana de São Paulo*. Tese. Doutorado (Ciências). Universidade de São Paulo.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria/RS. Ed. UAB/NTE/UFSM.
- Poersch, A. C. C., Sebastien, N. Y., Reimcke, J. V. T., & Camozatto, E. E. (2021). Aspectos Históricos da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e métodos alternativos com redução no tempo de análise. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12 (6).
- PND. (2015). *Environmental Regulatory Document: Method for Performing Biochemical Oxygen Demand (BOD) Measurements after n Days of Incubation in Surface Fresh, Underground (Ground), Drinking, Waste, and Treated Waters*. Moscow.
- Sawyer, C. N., Mccarty, P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science*, (5ª ed.)' New York: McGraw-Hill.
- UFPR. (2020). *Movimentos da Terra, Estações*. <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>>. \eW
- Van't Hoff, M. J. H. (1884). Etudes de dynamique chimique. *Recl. Trav. Chim.* 3, 333-336. <https://doi.org/10.1002/recl.18840031003>
- Van Vliet, M. T. H. F., Ludwig, J. J. G., Zwolsman, G P., & Weedon; P. K. (2011). Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. *Water Resources Research*, 47. doi:10.1029/2010WR009198
- Vigiak, O., Grizzetti, B., Udias-Moinelo, A., Zanni, M., Dorati, C., Bouraoui, F., & Pistocchi, A. (2019). Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies, *Science of the Total Environment*, 666, 1089–1105.
- Webb, B. W., Clack, P. D. & Walling, D. E. (2003). Water-air temperature relationships in a Devon river system and the role of flow, *Hydrol. Processes*, 17 (15), 3069– 3084.
- Webb, B. W., Hannah, D. M., Moore, R. D., Brown, L. E., & Nobilis, F. (2008). Recent advances in stream and river temperature research, *Hydrol. Processes*, 22 (7), 902– 918.