

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **CORRELAÇÃO ENTRE CONCENTRAÇÃO DE O<sub>2</sub> E GASES TOTAIS DISSOLVIDOS.**

*Carlos Barreira Martinez<sup>1</sup>; Dieimys Santos Ribeiro<sup>2</sup>; Guilherme Ferraz<sup>3</sup>; Nathan Lopes de Oliveira Silva<sup>4</sup>; Luiz Gustavo Martins Silva<sup>5</sup>; Andrey L. Fagundes de Castro<sup>6</sup>; Juliano Mafra Neves<sup>7</sup> & Liandro da Rosa<sup>7</sup>*

**Abstract:** The measurement of total dissolved gases (TDG) has become more pressing downstream of hydroelectric power plants (HPPs) in Brazil. These field measurements are carried out by gas sensors which usually report the concentration of Oxygen (O<sub>2</sub>) and water temperature in addition to TDG. Possibly because environmental agencies are not obliged to monitor these parameters, sensors in Brazil are expensive and have limited availability. As a result, there has been a tendency to use O<sub>2</sub> meters in an attempt to establish correlations between the values obtained and total gas concentrations. However, this indirect measurement can present significant distortions since the gas concentration parameters can originate from aquatic organisms or be abiogenic (spillways and dissolution of atmospheric gases). This paper presents a laboratory study, under controlled conditions, of the parameterization of TDG meters from two different manufacturers with measurements obtained from oximeters and shows that under these conditions there is a strong correlation between TDG results and O<sub>2</sub> measurements. The authors warn that these results are valid for the conditions of the test carried out, which reflect a situation similar to that immediately downstream of spillways.

**Keywords:** Gas supersaturation; Ichthyofauna; Spillway; Hydroelectric power plant (HPP) operation.

**Resumo:** A medição de gases totais dissolvidos (TDG) tem se tornado mais premente a jusante de usinas hidrelétricas (UHEs) no Brasil. Essas medições em campo são efetuadas por sensores de gases que normalmente informam além do TDG a concentração de Oxigênio (O<sub>2</sub>) e temperatura da água. Possivelmente em razão da não obrigatoriedade, por parte dos órgãos ambientais, do monitoramento desses parâmetros os sensores, no Brasil, têm um custo elevado e disponibilidade limitada. Em função disso, observa-se uma tendência à utilização de medidores de O<sub>2</sub>, buscando-se estabelecer correlações entre os valores obtidos e as concentrações totais de gases. Entretanto essa medição indireta pode apresentar distorções significativas uma vez que os parâmetros de concentração gasosa podem ter origens a partir de organismos aquáticos ou serem abiogênica (vertedores e dissolução de gases atmosféricos). Esse trabalho apresenta um estudo em laboratório, sob condições controladas, de parametrização de medidores de TDG de dois fabricantes distintos com as medições obtidas de oxímetros e mostra que nessas condições existe uma forte correlação entre os resultados de TDG e as medições de O<sub>2</sub>. Os autores alertam que esses resultados são válidos para as condições do ensaio realizado que refletem uma situação semelhante àquela imediatamente a jusante de vertedores.

**Palavras-Chave** – Saturação gasosa; Ictiofauna; Vertedouro; Operação de UHE.

1 PPGEM /MPEH / UNIFEI &. PPGMEC / UFMG. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: cmartinez@unifei.edu.br;

2 PPPGEL / UNIFEI. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: dieimys@unifei.edu.br;

3 HVEX. R. Ismael Pinto de Noronha, 86 / MG, Itajubá / MG. e-mail: hvexferraz@gmail.com;

4 UNIFEI. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: nathanlopes01@outlook.com;

5 Cientista G.P. em Ec hidráulica da ETH-Zurich / Suíça, e-mail: lumartins@ethz.ch;

6 DCNAT/ UFSJ. Pça Dom Helvécio, 74 Bairro Fábricas - São João del Rei – MG. e-mail: andreycastro@ufsj.edu.br

7 SINOP ENERGIA. Av. dos Flamboyants, 684, Jardim Botânico, Sinop/MT, CEP: 78.556-024.

e-mail: juliano.mafra@sinopenergia.com.br / liandro.rosa@sinopenergia.com.br.

## INTRODUÇÃO

Os eventos de descarga de vazões pelos vertedores podem provocar um efeito de arrasto de ar para a água aumentando a concentração de gases totais dissolvidos (TDG). Os efeitos adversos da desse fenômeno sobre a ictiofauna tem sido objeto de estudos e pesquisas ao redor do mundo. Uma das estratégias para a identificação dos prejuízos causados é a pesquisa de campo com coleta de indivíduos (peixes) e a confrontação de eventos de mortandade com registros de qualidade de água, incluindo registros de taxas de TDG. Ocorre que a medição de TDG não é uma atividade corriqueira no Brasil e boa parte das pesquisas que tem sido levadas a frente, são por imposição de órgãos ambientais frente a eventos de mortandade. A isso deve-se somar o custo de se promover campanhas de campo que invariavelmente recaem sobre as concessionárias. Além disso existe uma crônica dificuldade estrutural no Brasil de se importar instrumentos de medição e pesquisa que são taxados pesadamente e tem custo elevado. Dentro desse contexto a procura por alternativas para a medição das taxas de saturação gasosa passa pela possibilidade de se medir as taxas de  $O_2$  e a partir daí inferir valores de TDG. Esse trabalho apresenta um estudo desenvolvido em ambiente controlado de laboratório e apresenta os resultados de correlação entre valores de  $O_2$  e de TDG. Concomitantemente apresenta uma revisão bibliográfica onde são apresentadas pesquisas que correlacionam as taxas de saturação gasosa com eventos de morte de peixes e com a redução de capacidade natatória, orientação e de memória desses indivíduos. Apresenta-se dados de literatura sobre a correlação entre as descargas de vertedores e o aumento do TDG em barragens do Rio Columbia, EUA.

## REVISÃO BIOGRAFICA

Os efeitos de gases supersaturados sobre a organismos vivos tem sido objeto de diversos estudos que demonstram que taxas entre 110 e 125 % de saturação gasosa podem ter efeito severos sobre a ictiofauna, Agostinho A. *et al.*, (2021). Além desses efeitos foi observado que a supersaturação de TDG pode ter impacto na capacidade natatória de peixes, influenciando diretamente a capacidade de transpor obstáculos em testes laboratoriais, bem como o trajeto sob essas circunstâncias, Yang L. *et al.*, (2024). Um estudo do efeito da supersaturação sobre comportamento natatório, agressividade e memória dos peixes mostrou que após exposição de 2 horas sob taxas de 130% de TDG o desempenho natatório e de memorização (testes de labirinto e espelho) se reduz e o comportamento dos indivíduos muda significativamente demonstrando o efeito sobre esses organismos, Liao. J. *et al.*, (2024). A redução da capacidade natatória de peixes, também foi percebida em estudos que indicaram redução na capacidade de deslocamento que pode reduzir de 15% a 95% daquela alcançada por grupos controle, Yuan Q. *et al.*, (2024). O impacto das taxas de TDG sobre peixes também foi objeto de uma investigação conduzida por Yuan Q. *et al.*, (2023) que mostra que a velocidade de explosão e a velocidade crítica são significativamente afetadas pela taxa de TDG e pela velocidade do escoamento concluindo ser necessário uma estratégia de geração (despacho de vazões) visando a preservação de espécies de peixes. A influência da dimensão corporal de peixes foi objeto de uma investigação onde indivíduos da espécie carpa capim foram submetidos a escoamentos supersaturados com TDG em níveis de 125%, 130%, 135% e 140%. Os resultados mostraram que indivíduos de maior porte tendem a ter uma tolerância menor aos efeitos da água supersaturada, Fan Z. *et al.*, (2020). Os efeitos da supersaturação de TDG no desempenho natatório também foi objeto do estudo de Wang Z. *et al.*, (2018), que demonstrou a redução significativa da capacidade natatória em peixes. A pesquisa conduzida na represa de Wells, operada e de propriedade do Public Utility District do Condado de Douglas no Rio Columbia, Washington, EUA, indica ser possível criar regiões da bacia de dissipação que podem resultar em taxas menores de TDG, Politano M. *et al.*, (2012). Nos experimentos desenvolvidos por Li R. *et al.*, (2012), foi levantada a hipótese de que se for possível aumentar a

turbulência ou profundidade da água a taxa de dissipação de TDG será aumentada com possibilidade de mitigação mais racional para esse problema ambiental. Uma investigação conduzida pela equipe do *Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu, China* mostrou que a dissipação de energia por meio de bacias de dissipação com ressalto hidráulico apresenta maiores níveis de TDG que aquelas que usam a dissipação de energia do salto de esqui, Shudan X. *et al.*, (2019). O estudo ainda mostrou que juvenis de robalo branco cultivados exibiram doença de bolhas após 96 horas de exposição a taxas de TDG de 116% e 122%. Nesse estudo os autores também descreveram que encontraram uma elevada correlação entre as taxas de TDG e de O<sub>2</sub> (Figura 1) Shudan X. *et al.*, (2019). Apesar desses resultados o artigo intitulado “Relação entre gás dissolvido total e oxigênio dissolvido na água” demonstra, por meio de experimentos de laboratório e de medição de concentrações de TDG em campo a jusante de projetos de barragens na China, que usar as concentrações de O<sub>2</sub> para prever a supersaturação de TDG pode resultar em erros de grandes proporções, Qian M. *et al.*, (2013). Os autores concluem que essa estratégia não deve ser uma alternativa plausível e apropriado como um preditor das concentrações de TDG. O relatório emitido pelo *U.S. Geological Survey* em 2010, apresenta um conjunto de gráficos (Figura 2) correlacionando a descarga pelo vertedor com as variações de TDG a jusante de diversas barragens. A observação dessas figuras deixa bastante explícita a correlação entre o aumento da descarga dos vertedores e a elevação da taxa de TDG no local, Tanner D. Q. *et al.*, (2010).

Figura 1 - Correlações entre o gás dissolvido total (TDG) e o oxigênio dissolvido (O<sub>2</sub>).

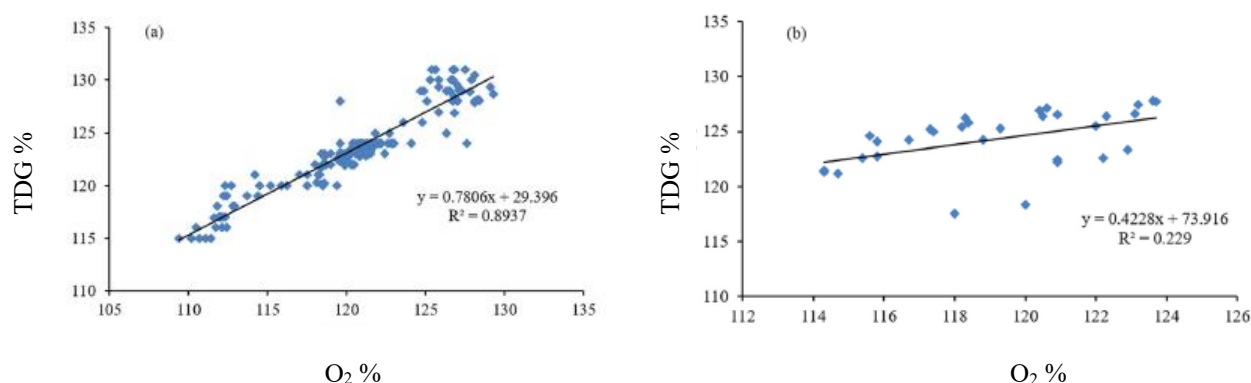


Figura 2 – Correlação entre descarga e %TDG em barragens do Rio Columbia EUA 01 abril a 31 agosto de 2009.

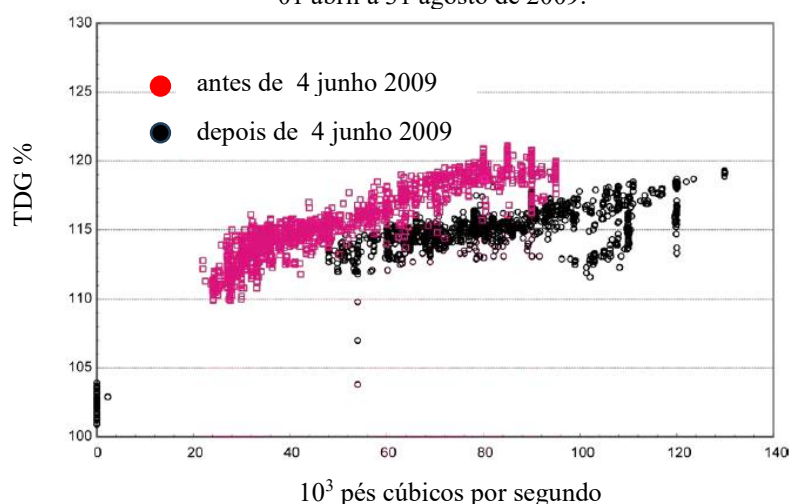
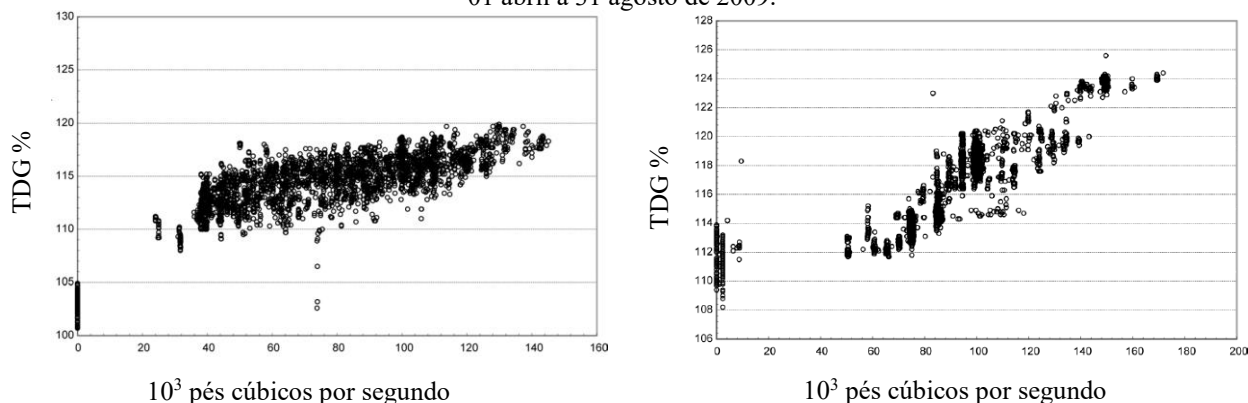


Figura 2 (cont.) – Correlação entre descarga e %TDG em barragens do Rio Columbia EUA  
01 abril a 31 agosto de 2009.



Agostino A. *et al.*, (2021), descreve uma campanha de medição feita no rio Teles Pires (bacia amazônica, Brasil) entre os dias 15 de fevereiro de 2020 a 14 de abril de 2020 e 1º de novembro de 2020 a 31 de dezembro de 2020. Os resultados alcançados mostraram que as taxas de O<sub>2</sub> e TDG foram da mesma ordem, com diferentes faixas de variação (112% a 142% para O<sub>2</sub> e 140% a 170% para TDG) com um comportamento praticamente paralelo entre as medidas. Esse autor ao final concluiu que, nesse caso é possível utilizar a saturação de O<sub>2</sub> para inferir incrementos na saturação de TDG.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Bancadas e Sondas:

Os testes de saturação gasosa foram feitos com três sondas manuais de TGP e uma sonda manual de O<sub>2</sub>. Duas delas são do modelo OxyGuard Handy Polaris TGP®, uma sonda InWater Technologies – TGP Probe® e um oxímetro OxyGuard Handy Polaris C®. Esses equipamentos estão apresentados na Figura 3. A bancada geradora de água supersaturada é constituída de bomba pressurizadora, compressor de ar, tanque estabilizador e tanques de teste, vide Figuras 4 e 5.

Figura 3 – Sondas de TDG e oxímetro.

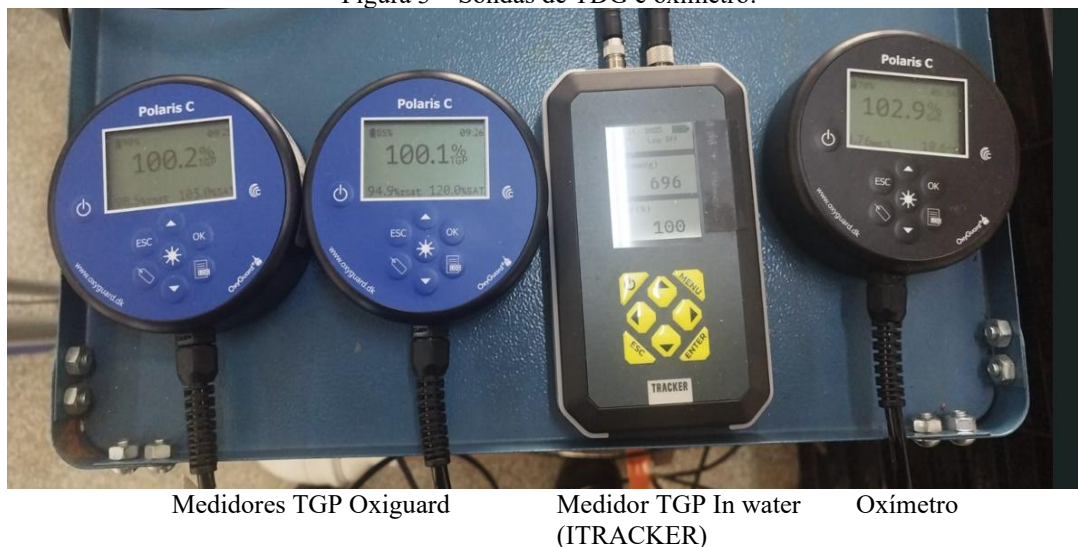




Figura 4 – Bancada de testes.

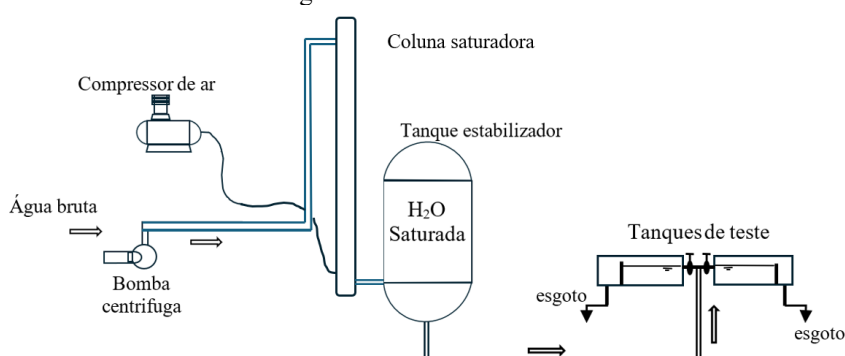


Figura 5 – Bancada de testes vista geral do sistema.



Coluna saturador (a),



Tanque estabilizador (b).



Acima – tanques de teste (c).



Acima – Sondas TGP e oxigênio (d).

#### Procedimentos de teste:

Foram utilizados 3 tipos de água, quais sejam: i) água carbonatada (gás), ii) água tratada, e; iii) água proveniente de tanques de criação de peixes. Os testes foram feitos colocando as 3 sondas de TDG e a sonda de O<sub>2</sub> em um mesmo tanque realizando as medições na seguinte sequência: a) Oxímetro; b) 2 medidores de TDG Oxiguard e c) medidor TDG InWater. No primeiro teste foram realizadas as medições com água carbonatada comercial (gás) em concentrações de 100% e 50% com medições em intervalos de 2 minutos entre as medições, até totalizar 40 minutos de teste. No caso da água gaseificada a mistura com água tratada foi de 50% e optou-se por estender o tempo de medição até 145 minutos. Assim nos primeiros 45 minutos foram realizadas medições espaçadas de 2 minutos, após 45 minutos o tempo de medição foi ampliado para 10 minutos até totalizar 145 minutos de teste.

Na sequência fez-se o teste com água bruta. Para isso sistema saturador foi acionado e foi deixado operando por 30 minutos antes dos testes com as sondas. O teste foi feito com medições espaçadas de 2 minutos entre si até totalizar 15 minutos de testes. O teste com água proveniente de tanques de criação de peixes foi executado com medições em espaços de tempo de 2 minutos entre si até totalizar 40 minutos de teste. A temperatura dos testes foi monitorada e não apresentou variações ficando entre 27 e 28 graus Celcius.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sabe-se que a saturação gasosa na água é resultado de uma mistura do gás atmosférico com a água. A literatura mostra que essa proporção do gás atmosférico é de aproximadamente 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, 0,94% de gases nobres, 0,03% de dióxido de carbono e 0,03% de outros gases e impurezas, Quian M. *et al.*, (2013). Esse mesmo autor cita também que a taxa de oxigênio pode variar em função da qualidade da água pois ele pode reagir biologicamente com os componentes existentes na água. Assim o resultado do teste de parametrização da água de tanques proveniente de tanques de criação de peixes é importante está pois é uma condição mais próxima daquela que pode ser encontrada nos rios. O resultados com dos testes de medição de níveis de saturação saturação gasosa (TDG) e de taxas de oxigenação podem ser observados nas Figura 6 e 7 e na Tabela 1.

Figura 6 – Comparação dos resultados de medição entre as sondas OxyGuard Handy Polaris TGP®, uma sonda InWater Technologies – TGP Probe®.

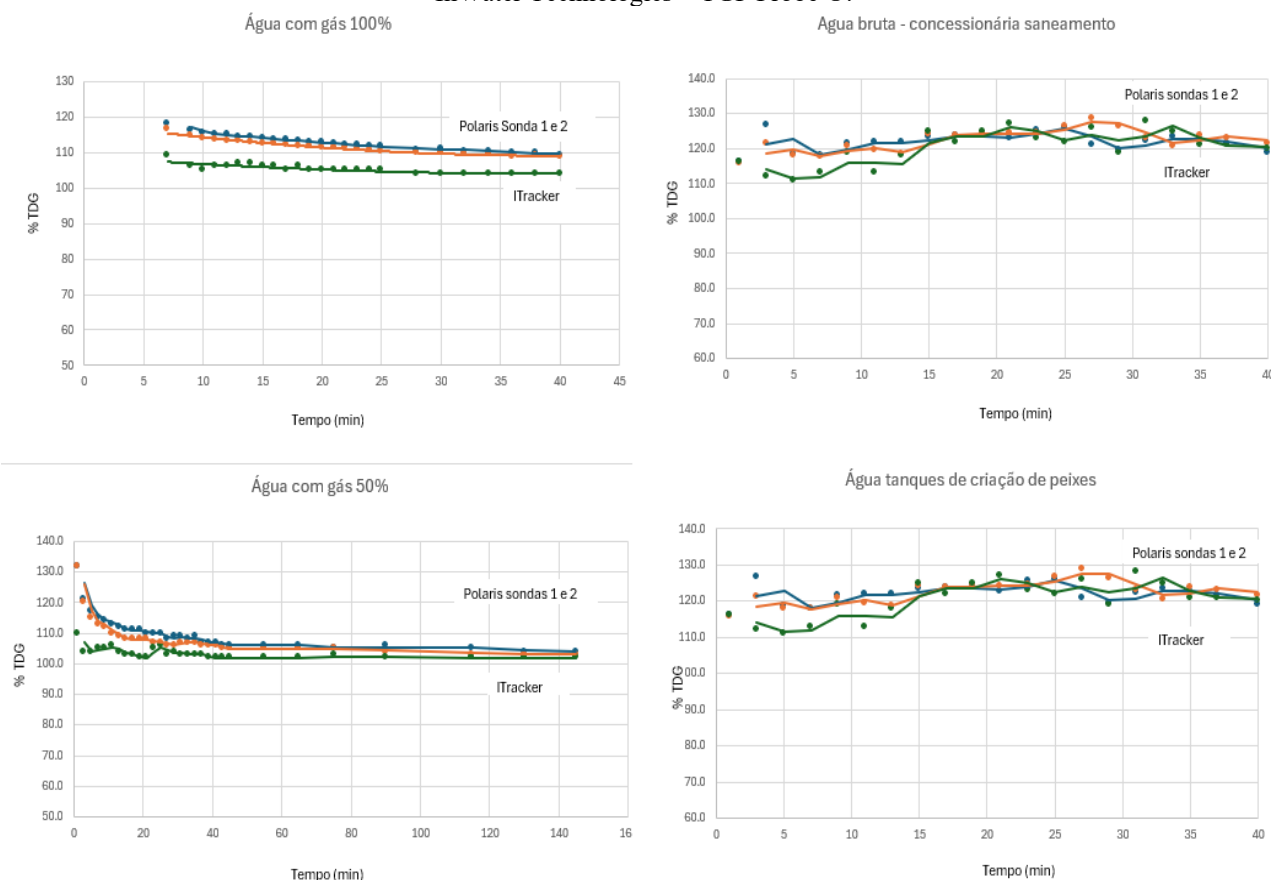


Figura 7 – Comparação dos resultados de medição de TDG e O<sub>2</sub> com água de tanques de peixes após saturação na bancada de saturação.

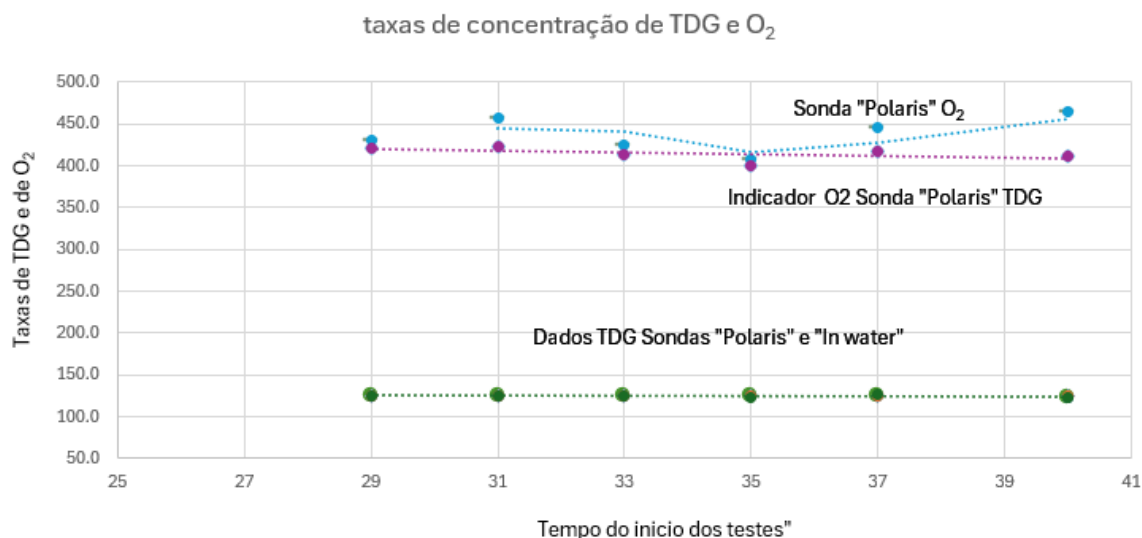


Tabela 1 – Dados de TDG e taxa de oxigenação obtida nos ensaios.

| Medidores                               | Tempo do início dos testes (min) |     |     |     |     |     |     |
|---|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | 27                               | 29  | 31  | 33  | 35  | 37  | 40  |
|   | Taxas de TDG e O <sub>2</sub>    |     |     |     |     |     |     |
| Polaris TDG 1 <sup>(a)</sup>            | 125                              | 125 | 125 | 125 | 125 | 125 | 124 |
| Polaris TDG 2 <sup>(a)</sup>            | 125                              | 125 | 125 | 125 | 125 | 124 | 124 |
| in Water TDG 1 <sup>(b)</sup>           | 127                              | 125 | 125 | 124 | 123 | 127 | 123 |
| Polaris O <sub>2</sub> 3 <sup>(c)</sup> | 450                              | 431 | 458 | 425 | 408 | 446 | 465 |
| Polaris O <sub>2</sub> <sup>(a)</sup>   | 398                              | 420 | 423 | 413 | 400 | 417 | 411 |

(a) Medidores OxyGuard Handy Polaris TGP®, (b) Sonda InWater Technologies – TGP Probe®;

(c) Oxímetro OxyGuard Handy Polaris C®.

## CONCLUSÃO

Os testes conduzidos em laboratório mostram que as sondas dos fabricantes convergem nas leituras obtidas. Entretanto ao se analisar a figura 6 percebe-se que elas demandam um tempo de entre 25 e 30 minutos para se estabilizar. Ao se fazer a correlação entre a taxa de O<sub>2</sub>, obtida a partir do saturador com água de tanques de peixes, observa-se que existe uma correlação entre a variação de O<sub>2</sub> e de TDG o que vai ao encontro de dados da literatura, Shudan *et al.*, (2019). Entretanto ao se comparar os dados obtidos com os da figura 1 percebe-se que as taxas de O<sub>2</sub> do ensaio são muito superiores às da literatura. Isso pode ser causado pelo fato de o saturador estar incorporando mais oxigênio do que nitrogênio à água causando essa distorção. Uma explicação para isso é o pequeno volume do tanque saturador e o baixo tempo de passagem pelo sistema. A análise da Figura 2, dos autores, Tanner D. Q. *et al.*, (2010), mostra que existe uma relação direta entre a vazão despachada pelos vertedores e a taxa de O<sub>2</sub>. Isso mostra que é possível vislumbrar uma situação em que se pode levantar uma curva de abertura dos vertedores versus vazão, tal como descrito por Augustinho. A. *et al.*, (2021) e utilizar medições de O<sub>2</sub> como orientação para inferir a concentração de gases totais dissolvidos (TDG). Apesar desses indícios os autores recomendam cautela com a utilização de dados de O<sub>2</sub> para

correlacionar com valores de TDG. Isso, a princípio, somente deve se vislumbrado mediante a possibilidade de se fazer levantamentos regulares de parametrização semelhante ao apresentado na metodologia descrita. Caso não se tomem essas precauções pode-se incorrer em erros significativos como descrito na literatura, Qian M. *et al.*, (2013). Sem essa cautela uma alternativa de custo reduzido e que pode ser útil pode-se transformar em uma fonte de erros que se propagarão pelo meio técnico e científico causando mais desinformação e prejuízos do que benefícios.

## AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à UNIFEI, UFMG, ANEEL, SINOP, FAPEMIG e CNPQ pelo suporte para realização desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; ALVES, D. C.; GOMES, L. C.; DIAS, R. M.; PETRERE, JR. M.; PELICICE F. M.. (2021). *"Fish die-off in river and reservoir: A review on anoxia and gas supersaturation."* Neotropical Ichthyology, 2021.
- JIALIN L.; HUI C.; XIN Y.; HAORAN S.; QUAN Y. (2024). *"Impact of short-term total dissolved gas supersaturation on cognitive function and swimming performance in medaka (Oryzias latipes)."* Environmental Sciences Europe, 3 de 10 de 2024: 11.
- POLITANO, M.; ARENAS AMADO, A.; BICKFORD, S.; MURAUSKAS, J. D. HAY. (2012). *"Evaluation of operational strategies to minimize gas supersaturation downstream."* Computers & Fluids, 15 de september de 2012: 168-185.
- QIAN, M.; RAN, L. FENG, J.; WANG, L.L. (2013). *"Relationship between total dissolved gas and dissolved oxygen in water."* Fresenius Environmental Bulletin, 2013: 3243-3250.
- YUAN, Q.; ZHANG, Z.; LI, K.; LIANG, R.; ZHU, B.; WANG, Y. (2024). *"Effect of Total Dissolved Gas Supersaturation on Swimming Performance of Migratory Fish for Traversing Velocity Barriers."* Aquaculture Research, 19 de 08 de 2024: 11.
- LI, R.; HODGES, B. R.; FENG J.; YONG. X. (2012). *"Comparison of Supersaturated Total Dissolved Gas Dissipation with Dissolved Oxygen Dissipation and Reaeration."* Journal of Environmental Engineering, 3 de Aug. de 2012: 380 - 395.
- XUE, S.; KEFENG, L.; LIANG, R.; CAO, L.; WANG, Y.; LI, Y.; FENG, J. (2019). *"In situ study on the impact of total dissolved gas supersaturation on endemic fish in the Upper Yangtze River."* River Research and Applications, November de 2019: 1511-1519.
- TANNER, D.Q.; BRAGG, H.M.; JOHNSTON, M.W. (2010). *"Total dissolved gas and water temperature in the lower Columbia River, Oregon and Washington, water year 2009: Quality-assurance data and comparison to water-quality standards."* Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Open-File Report , 2010, 26.
- YANG, X.; SHI, H.; LIU, X.; OU, Y.; LIU, X.; LI, M.; YUAN, Q. (2024). *"Effect of total dissolved gas supersaturation on the passage behavior of silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) and ya-*



*fish (Schizothorax prenanti) through an experimental vertical slot fishway.*” Ecotoxicology and Environmental Safety, 01 de 06 de 2024.

YUAN, Q.; DU, J.; LI, K.; WANG, Y.; LIANG, R. (2023). “*Effect of total dissolved gas supersaturation and flow velocity on survival and swimming ability of juvenile Schizothorax prenanti.*” Conservation Physiology, 12 de 2023: 16.

WANG, Y.; LI, Y.; NA, R.; LI, K. (2018). “*Effects of Total Dissolved Gas Effects of Total Dissolved Gas Effects of Total Dissolved Gas Species in the Upper Yangtze River.*” Scientific Reports, 03 de July de 2018: 10.

ZEQUN, F.; DENG, Y.; YUAN, Q.; LIU, X.; SHI, H.; FENG, C.; YANG, Y. (2020). “*Effect of total dissolved gas supersaturation on the tolerance of grass carp (Ctenopharyngodon idellus).*” Environmental Sciences Europe, 03 de april de 2020: 10.