

I-345 - CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DE FATORES AMBIENTAIS RELATIVOS À EMISSÃO DE BOLHAS DE METANO NO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DO PASSAÚNA – CURITIBA/PR

Lauren Belger⁽¹⁾

Pós-doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná.

Lucas Baran Radek⁽²⁾

Graduando em Engenharia Civil, Universidade Positivo.

Patrícia Bilotta⁽³⁾

Professor PhD no Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Universidade Positivo. Autor para contato.

Maurício Dzedzic⁽⁴⁾

Professor PhD no Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Universidade Positivo.

Endereço⁽³⁾:

Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Universidade Positivo, Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza, n. 5300, Curitiba/Paraná, Brasil, CEP 81280-330. E-mail: pb.bilotta@gmail.com

RESUMO

Reservatórios de água são importantes fontes de metano para a atmosfera. As bolhas são o principal mecanismo de liberação de metano produzido pela decomposição da matéria orgânica armazenada nas camadas anóxicas de sedimento. Fatores meteorológicos, como temperatura, velocidade do vento e radiação solar, podem influenciar a difusão do metano na coluna de água. Bolhas são frequentemente correlacionadas aos perfis de oxigênio dissolvido na coluna de água e variações na pressão hidrostática. O objetivo deste estudo foi realizar uma caracterização preliminar do processo de formação de bolhas e de fatores ambientais relacionados à emissão de metano no reservatório do Passaúna (Sul do Brasil). Velocidade e direção do vento, temperatura do ar, penetração da luz solar, perfil de oxigênio de temperatura da coluna de água foram medidos em três pontos de coleta durante três expedições realizadas em entre Março e Junho de 2015. A temperatura média do ar foi 21,3°C(±3,5°C) e a velocidade do vento foi 11 km/h (±7 km/h), sendo que a temperatura diminuía com o aumento da velocidade do vento ($p>0,8$). A coluna de água apresentou estratificação nas três expedições. A emissão média de metano foi 769 mg/m²/dia (±623 mg/m²/dia) e foi menor quanto maior a pressão hidrostática. Entretanto, a mistura da coluna de água, causada por fatores meteorológicos, mascararam o padrão de liberação de bolhas.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclo de carbono, liberação de bolhas, gases de efeito estufa.

INTRODUÇÃO

Reservatórios de água têm sido amplamente estudados pois atuam como fonte de gases de efeito estufa (GEE), em especial o gás metano (CH₄). Estima-se que áreas alagadas são responsáveis pela emissão de 20% do CH₄ de origem antropogênica (St. Louis et al. 2000). O principal meio de produção de GEE em reservatórios é a decomposição de compostos orgânicos presentes na coluna de água e no sedimento (Åberg et al., 2004) e a dinâmica de sua formação depende de fatores ambientais.

A coluna da água de um reservatório pode ser dividida em epilímnio (região superficial), metalímnio (região intermediária) e hipolímnio (fundo), que podem se estratificar formando camadas separadas. Na superfície a densidade é menor, pois há influência direta da radiação solar que aumenta a temperatura da água. Regiões profundas são mais frias, e mais densas, com menor penetração da luz solar, formando uma região pobre em oxigênio, que propicia a formação de CH₄ em processos de decomposição anaeróbica (Männich, 2013).

O principal meio de emissão de CH₄ são as bolhas que se desprendem do sedimento, onde o gás é formado (Engle e Melack, 2000). Estima-se que, em média, as bolhas sejam formadas por 80% de CH₄ e 20% de CO₂

(dióxido de carbono). As concentrações de óxido nitroso (N_2O), oxigênio (O_2) e outros gases são desprezíveis (Galy-Lacaux et al., 1997; Hilgert 2014).

A dinâmica de fluxos de GEE em reservatórios é influenciada pela ação de ventos e do regime de precipitações, que pode causar mistura e turbulência ao longo da coluna de água, alterando significativamente a distribuição de oxigênio dissolvido e pressão da coluna da água sobre o sedimento (Rosenqvist, 2002; Mendonça et al., 2012). Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi caracterizar os fatores ambientais que podem ser relacionados à emissão de GEE ao longo da coluna de água do reservatório de água do Passaúna, localizado na região da cidade de Curitiba/PR.

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O Rio Passaúna foi represado em 1989 e está situado entre os paralelos $25^{\circ}18'30''$ “e $25^{\circ}35'00''$ Sul e os meridianos $49^{\circ}18'30''$ “e $49^{\circ}31'30''$ Oeste. Atualmente, esse reservatório abastece 22% da população da Região Metropolitana de Curitiba/Brasil, possui vazão média afluyente de 2 mil L/s, área alagada de 7,5 km², volume total de 48.106 m³ e profundidade máxima de 17 m (Xavier, 2005).

O reservatório é considerado moderadamente degradado e as camadas profundas podem apresentar condições anóxicas nas estações do ano cuja temperatura é elevada (IAP, 2009). Os maiores índices de eutrofização são registrados em janeiro e fevereiro, e os menores em abril e maio (Xavier, 2005). Este estudo preliminar é parte de um projeto maior de modelagem de emissões de GEE, que está sendo realizado no reservatório do Passaúna. As coletas foram realizadas em três expedições, entre março e junho de 2015, com o auxílio de uma embarcação, em três pontos fixos: P1 ($25^{\circ}27'31.98''S$, $49^{\circ}22'57.54''O$); P2 ($25^{\circ}29'12''S$, $49^{\circ}22'53.22''O$) e P3 ($25^{\circ}31'46.08''S$ e $49^{\circ}23'23.16''O$).

Perfis de oxigênio e temperatura foram determinados com medições a cada metro da coluna de água com sondas multiparâmetro. Para a coleta de águas profundas foi utilizada uma Garrafa de Van Dorn, e para a coleta de sedimento foi utilizada uma Draga de Van Veen. As amostras foram devidamente acondicionadas em recipientes específicos e posteriormente submetidas a análises de laboratório. Mediu-se a profundidade de Secchi, para posterior cálculo da penetração luminosa na coluna de água, multiplicando-se o valor medido por um fator (fz) igual a 2,709 (Pompêo, 1999). A quantificação do carbono na coluna líquida e no sedimento se baseou nas quantidades de sólidos totais, fixos e voláteis presentes nas amostras. Para essa determinação foi utilizado o método de secagem a $103 - 105^{\circ}C$ para sólidos totais e o método da combustão a $550^{\circ}C$ para fixos e voláteis (APHA, 2005).

A coleta de bolhas emitidas do reservatório foi feita com a utilização de três funis invertidos de polietileno de aproximadamente 15 cm de diâmetro na base. Os funis eram totalmente preenchidos com água e permaneciam flutuando sob a superfície da água. Após algumas horas o gás que se acumulava nos funis era retirado por uma seringa graduada através de uma válvula instalada na parte superior de cada funil. O fluxo dos gases coletados foi calculado a partir da equação de Clapeyron para gases ideais e considera a área de contato dos funis, as condições de temperatura e pressão nos dias de coleta e a porcentagem média de CH₄ contida nas bolhas de 80% obtida da literatura (Galy-Lacaux et al., 1997).

Os dados ambientais (temperatura e umidade do ar, velocidade dos ventos, temperatura e oxigênio dissolvido, concentração de sólidos totais e voláteis dissolvidos na água superficial) foram relacionados entre si e com as emissões ebulitivas utilizando análise de correlação. Considerando-se significativas apenas relações com $p > 0,8$. A relação entre profundidade da penetração luminosa e da camada óxica foi analisada por meio do teste T.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A temperatura média do ar (\bar{x}) nos pontos de coleta foi $21,3^{\circ}C$ ($\pm 3,5^{\circ}C$). A velocidade média dos ventos foi 11 km/h ($\pm 7,0$ km/h), com direção predominante de su-sudeste (SSE), e a umidade média relativa do ar foi 66,1% ($\pm 23,9\%$). O céu esteve encoberto por nuvens nas expedições 1 e 2, e sol intenso na expedição 3. A temperatura média do ar em cada expedição foi significativamente menor quando a velocidade média do vento era maior ($p > 0,8$) (Tabela 1).

Tabela 1: Média e desvio padrão de condições meteorológicas medidas sobre os três pontos de coleta durante as três expedições.

PARÂMETRO	EXPEDIÇÃO 1	EXPEDIÇÃO 2	EXPEDIÇÃO 3
Temperatura do ar	24,6°C ($\pm 1,9^\circ\text{C}$)	17,2°C ($\pm 1,8^\circ\text{C}$)	22,2°C ($\pm 1,1^\circ\text{C}$)
Velocidade do vento	6,8 km/h ($\pm 6,8$ km/h)	14,4 km/h ($\pm 8,5$ km/h)	6,8 km/h ($\pm 5,8$ km/h)
Umidade do Ar	76,1% ($\pm 6,0\%$)	78,4% ($\pm 7,9\%$)	44,0% ($\pm 32,9\%$)

Não houve variação da profundidade entre as expedições (P1 – 4 m; P2 – 8 m; P3 – 16 m). A profundidade média da zona fótica (Tabela 2) foi 6,3 m ($\pm 3,1\text{m}$). A maior penetração de luz foi observada na primeira expedição ($\bar{x} = 8,1 \pm \sigma = 1,4$) e a menor na terceira ($\bar{x} = 5,1 \pm \sigma = 1,8$). Não houve relação significativa entre profundidade do epilânio com a profundidade da camada fótica, provavelmente porque eventos de mistura e de estratificação interviram na concentração de oxigênio superficial mascarando o efeito da fotossíntese na produção de oxigênio dissolvido.

Tabela 2: Penetração luminosa calculada a partir de dados da profundidade de Secchi nos três pontos de amostragem.

EXPEDIÇÃO	PROFUNDIDADE DA ZONA FÓTICA (m)		
	P1	P2	P3
1	6,8	8,1	9,5
2	5,4	6,2	5,4
3	3,0	5,4	6,8

A temperatura superficial média da água foi 20,5°C ($\pm 2,5^\circ\text{C}$) e a concentração média de oxigênio dissolvido (OD) na água superficial foi 7,8 mg/L ($\pm 1,8\text{mg/L}$). Tanto a temperatura quanto a quantidade de OD diminuíram a medida em que a profundidade da coluna de água aumentava. Entretanto, cada ponto de coleta apresentou características únicas em cada expedição (Figura 1).

Observou-se estratificação térmica da coluna da água na expedição 1, com formação de hipolímio anóxico abaixo dos 11 m no ponto mais profundo (P3). Na expedição 2 toda a coluna da água em P3 apresentou depleção de oxigênio (OD superficial de 4,6mg/L e 4,4mg/L até a profundidade de 16 m). Os outros dois pontos (P1 e P2) mantiveram concentrações superficiais de OD próximas à média (8,2 e 7,0 mg/L, respectivamente). Na expedição 3, a única realizada em condição de sol intenso, observou-se concentração superficial de OD mais alta ($9,2 \pm 0,9\text{mg/L}$), provavelmente em função de maior atividade de fotossíntese do fitoplâncton.

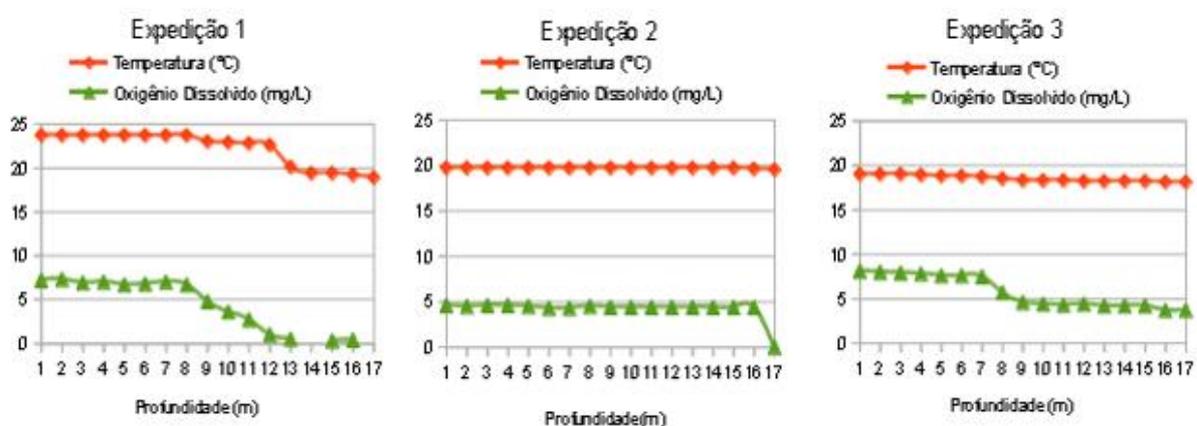


Figura 1: Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido na coluna da água no ponto mais profundo (P3) do reservatório.

A quantidade de sólidos suspensos totais (SST), fixos (SSF) e voláteis (SSV) foi muito maior nas amostras coletadas no fundo em relação à superfície do reservatório (Tabela 3). A razão entre SSV e SST foi 88% na superfície e 21% no fundo. No sedimento o valor máximo encontrado de SSV foi 47% em relação à quantidade de sedimento total.

Tabela 3: Concentração de SST, SSF e SSV nas regiões superficial e profunda da coluna da água.

EXPEDIÇÃO	PONTO	SUPERFÍCIE			FUNDO		
		SST(mg/L)	SSF(mg/L)	SSV(mg/L)	SST(mg/L)	SSF(mg/L)	SSV(mg/L)
1	P1	4	0	4	570	500	70
	P2	6	0	6	1100	820	280
	P3	8	2	6	1880	1550	330
2	P1	2	0	2	50	30	20
	P2	2	0	2	270	180	90
	P3	6	0	6	120	70	50
3	P1	10	2	8	40	30	10
	P2	6	0	6	300	260	40
	P3	6	2	4	70	60	10

A emissão média de CH₄ por ebulição foi 769 mg/m²/dia (\pm 623 mg/m²/dia). Na expedição 1 o fluxo de bolhas foi menor nos pontos mais profundos de coleta, corroborando a hipótese de que a menor pressão hidrostática favorece a ebulição (Tabela 4).

As emissões de GEE por meio de bolhas tende a decrescer com o aumento da profundidade (Hilgert 2014). Esse padrão não ficou claro nas expedições 2 e 3, pois a maior pressão hidrostática aprisiona as bolhas no sedimento, minimizando sua emissão para a atmosfera, porém a produção de CH₄ é maior em ambientes profundos anóxicos. Por isso, se houver mistura da coluna de água, em decorrência de ventos intensos ou temperaturas atmosféricas mais baixas, pode haver desprendimento de gases aprisionados, o que parece ter ocorrido nas expedições 2 e 3, em que o reservatório não apresentou estratificação da coluna de água.

Tabela 4: Fluxo ebulitivo de CH₄ medido nos pontos de coleta do reservatório nas três expedições.

EXPEDIÇÃO	FLUXO EBULITIVO (mg/m ² /dia)		
	P1	P2	P3
E1	1396	704	601
E2	1235	0	1716
E3	845	*	0

*Dado descartado por problemas operacionais.

Embora padrões relevantes tenham sido observados com os dados obtidos nessas três expedições, não se observou relação significativa entre os demais fatores ambientais e as emissões ebulitivas do reservatório, mostrando ser necessário dar continuidade ao projeto. Deverão ser realizadas ainda mais expedições entre setembro/2015 a junho/2016 o que, espera-se, proverá dados suficientes para realizar análises estatísticas mais complexas e identificar padrões e inter-relações entre as variáveis investigadas.

CONCLUSÃO

A emissão média de metano por ebulição medida no reservatório do Passaúna, entre março e junho de 2015 foi de 769 mg/m²/dia (\pm 623 mg/m²/dia). As três expedições realizadas indicaram que a ebulição é menor em pontos mais profundos com maior pressão hidrostática e maior quando há revolvimento da coluna da água até o fundo, causado por mudanças meteorológicas, como vento e temperatura da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ÅBERG, J., ALGESTEN, G., SÖDERBACK, K., JANSSON, M. A comparison of the carbon balances of a natural lake (L. Örträsket) and a hydroelectric reservoir (L. Skinmuddselet) in northern Sweden. *Water Research*, **38**, 531–538, 2004.
2. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed. American Public Health Association, Washington, DC, 2005.

3. ENGLE, D., MELACK, J. M. Methane emissions from an Amazon floodplain lake: Enhanced release during episodic mixing and during falling water. *Biogeochemistry*, **51**, 71–90, 2000.
4. GALY-LACAUX, C., DELMAS, R., JAMBERT, C., DUMESTRE, J. F., LABROUE, L., RICHARD, S., GOSSE, P. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles*, **11**(4), p. 471, 1997.
5. HILGERT, S. *Improvement of the Understanding and Detection of Spatial and Temporal Heterogeneities of Methane Emissions by Correlating Hydro-Acoustic with Sediment Parameters in Subtropical Reservoirs*, Karlsruhe Institute of Technology, 2014.
6. IAP. Instituto Ambiental do Paraná. *Qualidade das Águas - Reservatórios do Estado do Paraná 2005 a 2008*, Brasil, 2009.
7. St. LOUIS, V. L., KELLY, C. A., DUCHEMIN, E., RUDD, J. W. M., ROSEMBERG, D. M. Reservoir Surfaces as Sources of Greenhouse Gases to the Atmosphere: A Global Estimate. *BioScience*, **50**(9), p. 766, 2000.
8. MÄNNICH, M. *Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios e Lagos – Contribuições para o Monitoramento e Modelagem 1D – Vertical*, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2013.
9. MENDONÇA, R., BARROS, N., VIDAL, L. O., PACHECO, F., ROLAND, S. K. F. Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs: What Knowledge Do We Have and What is Lacking? *Greenhouse Gases - Emission, Measurement and Management*, 55–78, 2012.
10. POMPÊO, M. L. M. O disco de Secchi. *Bioikos*, **13**(1/2): 40-45, 1999.
11. ROSENQVIST, A., FORSBERG, B. R., PIMENTEL, T., RAUSTE, Y. A., RICHEY, J. E. The use of spaceborne radar data to model inundation patterns and trace gas emissions in the central Amazon floodplain. *International Journal of Remote Sensing*, **33**, 1303-1328, 2002.
12. XAVIER, C. D. F. *Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba – Paraná*, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2005.