

IV-287 - EMISSÃO E ABSORÇÃO DE METANO E DIÓXIDO DE CARBONO EM UMA ÁREA ALAGADA NATURAL LOCALIZADA NA REGIÃO FLUVIAL DA REPRESA BILLINGS (RMSP-SP)

Tatiane do Nascimento Lopes⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Faculdade Oswaldo Cruz. Especialista em Perícia, Gestão e Auditoria Ambiental pela Faculdade Oswaldo Cruz. Graduanda em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia São Paulo (FATEC). Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal do ABC (UFABC).

Dra. Roseli Frederigi Benassi⁽²⁾

Professora do Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas - CECS, UFABC, Santo André, SP, Brazil. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (UFABC).

Dra. Lucia Helena Gomes Coelho⁽³⁾

Professora do Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas - CECS, UFABC, Santo André, SP, Brazil. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (UFABC).

Endereço⁽¹⁾: Avenida dos Estados, 5001, Santo André, SP, 09210-580, BRAZIL - e-mail: tatiane.lopes@ufabc.edu.br

RESUMO

As áreas alagadas são importantes fontes de gases com potencial estufa como o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂) devido aos processos de decomposição da matéria orgânica por diferentes vias metabólicas. Por esta razão, este trabalho determinou os fluxos destes gases em uma área alagada no Braço do Rio Grande, no Reservatório da Billings, e a sua relação com as variáveis limnológicas e a carga poluidora afluente. Para atingir este objetivo foram efetuadas medições da profundidade e transparência da coluna de água e coletadas amostras de sedimento, macrófitas, água e gases na interface água-ar em três estações com diferentes graus de ocupação do solo. Através dos resultados obtidos, observou-se que ocorreu maior emissão de CO₂ e CH₄ na área alagada da Estação 2 cuja localização fica ao redor de uma área intensamente urbanizada com lançamento de efluente. Dessa forma, conclui-se que a carga poluidora favorece a emissão de gases de efeito estufa, somando-se assim mais uma razão para evitar a contaminação dessas áreas.

PALAVRAS-CHAVE: Áreas Alagadas, Gás carbônico, Metano, Cargas poluidoras, Macrófitas.

INTRODUÇÃO

A “United State Fish and Wildlife Service” (FWS) (HAMMER e BASTIAN, 1989), em 1956 definiu áreas alagadas naturais como áreas nas quais a água é o principal fator que controla o ambiente e a associação de plantas e vida animal; são habitats de transição entre ambientes aquáticos e terrestres, que combinam atributos de ambos os ecossistemas (COWARDIN et al., 1979; MITSCH e GOSSELINK, 2000).

Dessa forma incluem pequenos lagos, várzeas e pântanos (KAYRANLI et al., 2010). As áreas alagadas são ecossistemas de maior produtividade, beneficiando de maneira importante os aspectos sociais e econômicos da população, principalmente pela disponibilidade de água doce. Além da provisão de água doce, as áreas alagadas também regulam inundações e secas, retêm sedimentos e nutrientes, estabilizam microclimas, retêm carbono, favorecem o turismo e a recarga de aquíferos (STEINKE e SAITO, 2008).

Em relação ao ciclo do carbono, as áreas alagadas contêm cinco reservatórios principais: a biomassa de produtores primários, particularmente a de macrófitas aquáticas; o carbono orgânico particulado, especialmente o carbono detrital; o carbono orgânico dissolvido; o carbono estocado na biomassa da microbiota e o carbono dos produtos gasosos resultantes dos processos de decomposição aeróbia e anaeróbia, como metano e dióxido de carbono (Figura 1) (KAYRANLI et al., 2010).

Apesar de cobrirem apenas uma pequena proporção da superfície terrestre (entre 2% e 6%, dependendo da definição e tipologia de ambientes considerados), as áreas alagadas contêm uma grande proporção do carbono

(aproximadamente 15×10^{14} kg) estocado no reservatório terrestre (WHITTING e CHANTON, 2001; KAYRANLI et al., 2010).

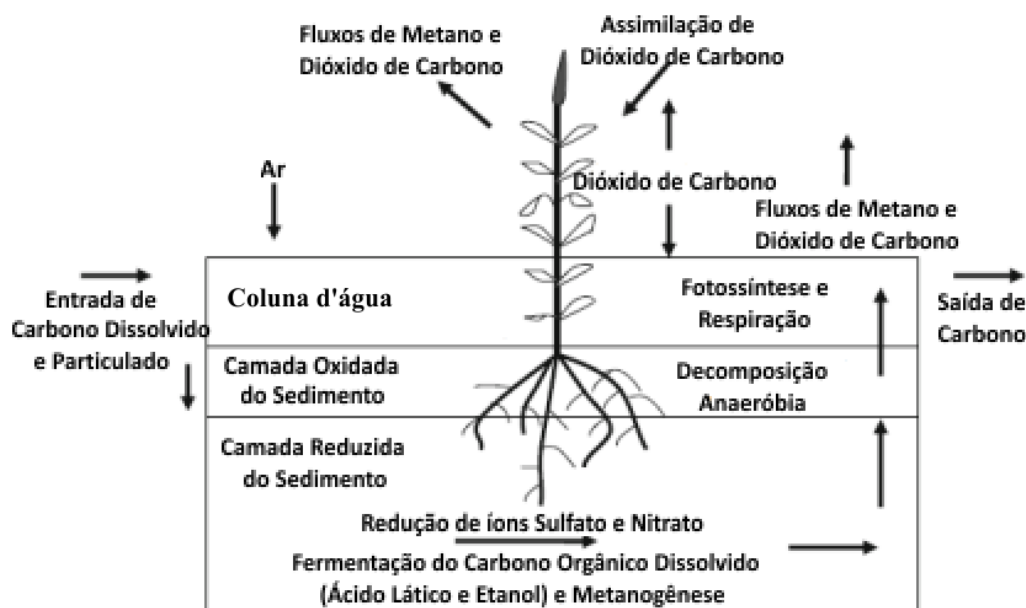


Figura 1. Diagrama esquemático mostrando os principais componentes do Ciclo Biogeoquímico do Carbono em Áreas Alagadas (adaptado de KAYRANLI et al., 2010).

Como importante componente do crescimento de carbono em áreas alagadas, o carbono orgânico dissolvido encontra-se distribuído desigualmente entre os seus compartimentos. Enquanto que no sedimento esta fração representa apenas 1% do carbono orgânico total, na coluna d'água pode representar até 90% do carbono dissolvido (KADLEC e KNIGHT, 1996; WYNN e LIEHR, 2001; REDDY e DELAUNE, 2008).

O gás carbônico (CO_2) e o metano (CH_4) são formados durante a decomposição de matéria orgânica por via aeróbia (respiração) e anaeróbia (metanogênese). Em reservatórios, as fontes de matéria orgânica podem ser a biomassa inundada pré-existente, o carbono orgânico dissolvido e particulado trazido da área terrestre circunvizinha (escoamento superficial, água subterrânea, chuva) e a biomassa gerada dentro do reservatório (produção primária) (SANTOS et al., 2008).

O gás carbônico é retirado da atmosfera pela fotossíntese quando as plantas crescem (FEARNSIDE, 2008). Na camada óxica de água, o CO_2 é produzido através da decomposição aeróbica de carbono orgânico dissolvido e particulado e da oxidação biológica do CH_4 gerado nas mais baixas camadas de água (SANTOS et al., 2008).

O metano produzido na zona anóxica pode ser liberado de vários modos, através do borbulhamento (ebulição) e a difusão pela superfície do reservatório. O borbulhamento permite que o CH_4 atravesse a barreira da termoclina e depende da profundidade da água, com emissões de bolhas muito maiores a profundidades mais rasas (FEARNSIDE, 2008).

As áreas alagadas naturais emitem cerca de $1,45 \times 10^{11}$ kg de gás metano por ano para a atmosfera, o que corresponde a 25% da emissão total deste gás a partir de todas as fontes naturais e antrópicas globais. As taxas de fluxo de metano em áreas alagadas são da ordem de $10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ e representam os efeitos líquidos entre os processos de produção e assimilação de carbono (CAO et al., 1998; WHALEN, 2005; KAYRANLI et al., 2010).

Como resultado dos processos de decomposição da matéria orgânica por diferentes vias metabólicas, as áreas alagadas são importantes fontes de gases com potencial estufa como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) (FEARNSIDE, 2008; SANTOS et al., 2008).

Uma tonelada de CH_4 é equivalente ao impacto sobre o efeito estufa provocado por 21 vezes uma tonelada de CO_2 , quando é utilizado o fator de conversão (potencial de aquecimento global, ou GWP) (MCTI, 2013).

De acordo com Kayranli et al. (2010), apesar do esforço despendido para se entender a hidrologia e os processos bioquímicos que têm lugar em áreas alagadas nas últimas duas décadas, ainda não há consenso geral sobre em que condições ambientais estes ecossistemas podem funcionar como sumidouro ou fonte de carbono para a atmosfera. Se por um lado, podem funcionar como reservatório para o dióxido de carbono atmosférico, sequestrando-o e aprisionando-o nos sedimentos, por outro, podem se constituir em significativa fonte de gases de efeito estufa, particularmente de metano.

Com a crescente demanda pelo entendimento e proposição de soluções para o problema do aquecimento global, e considerando a importância das áreas alagadas para o ciclo biogeoquímico do carbono, em especial com o sequestro e emissão de gases de efeito estufa, este projeto investigou a relação entre a carga poluidora afluente, a magnitude dos fluxos de metano e dióxido de carbono e as variáveis limnológicas em uma área alagada localizada na região fluvial da Represa Billings.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica da Billings ocupa um território de 582,8 Km², localizado na porção sudeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), fazendo limite, a oeste, com a Bacia Hidrográfica da Guarapiranga e, ao sul, com a Serra do Mar (Figura 2). Sua área de drenagem abrange integralmente o município de Rio Grande da Serra e parcialmente os municípios de Diadema, Ribeirão Pires, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo (SMA/CEA, 2010) e Mauá (INPE, 2015).

Os principais formadores do reservatório Billings são: Rio Grande ou Jurubatuba; Ribeirão Pires; Rio Pequeno; Rio Pedra Branca; Rio Taquaquecetuba; Ribeirão Bororé; Ribeirão Cocaia; Ribeirão Guacuri; Córrego Grota Funda e Córrego Alvarenga (SMA, 2010). O Braço do Rio Grande abastece com água potável uma população de 774.886 habitantes (CETESB, 2012).

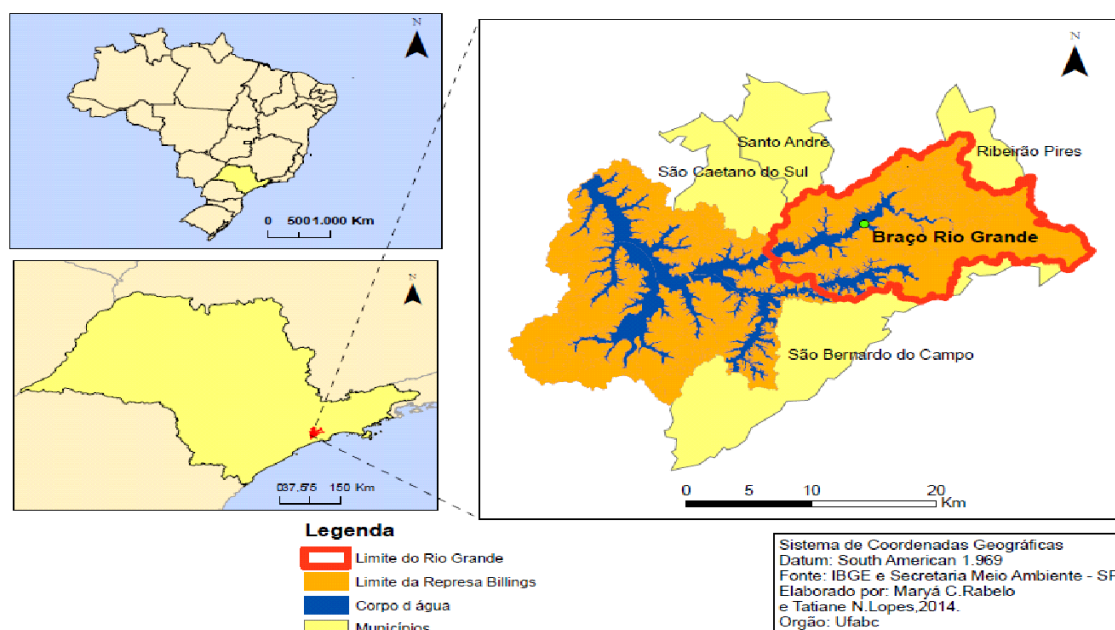


Figura 2. Bacia Hidrográfica da Billings (SP).

As amostras foram coletadas no dia 22 de agosto de 2014 em 3 estações de coleta, conforme Figura 3. As amostras foram coletadas em triplicata na sub-superfície e determinadas *in situ* a profundidade e a intensidade luminosa da coluna d'água, através do disco de Secchi.




Para escolha das estações de amostragem adotou-se o critério de escolha entre três regiões com graus distintos de uso e ocupação do solo, com a presença de bancos de macrófitas. O Quadro 1 apresenta as estações de amostragem onde ocorreram as coletas e as coordenadas geográficas medidas com GPS portátil marca Garmin, modelo Etrex.



Figura 3. Localização das Estações de amostragem no Braço Rio Grande

Fonte: Google Earth (2015)

Quadro 1. Imagens e Características das Estações de amostragem no Braço Rio Grande

Estações de amostragem	Imagem	Características do local
Estação 1 S 23°43'58,3" W 46°27'25,3"		Localizada no bairro de Sertãozinho, na cidade de Mauá, formado em sua maioria por vegetação nativa. Estação mais próxima ao sistema de captação de água bruta. Predominância de <i>Brachiaria spp</i> e <i>Salvinia molesta</i> .
Estação 2 S 23°43'13,5" W 46°26'10,0"		Localizada na cidade de Ribeirão Pires, fica dentro da área do Parque Municipal Milton Marinho, formado em sua maioria por vegetação nativa (SMA/CEA, 2010). A montante do Parque estão localizados os bairros Estância Santo Antônio, Estância Noblesse e Suíça. Predominância de <i>Brachiaria spp</i> e <i>Salvinia molesta</i> .
Estação 3 S 23°44'00,8" W 46°25'38,2"		Localizada próxima a Rodovia Índio-Tibiriça, abaixo da Ponte da Estrada Velha do Mar. Esta estação localiza-se a jusante do Rio Grande. Esta região está se desenvolvendo graças a esta rodovia (SMA/CEA, 2010). Presença de <i>Salvinia molesta</i> .

Em laboratório foram determinados os parâmetros físico-químicos conforme Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis físico-químicas e métodos.

Variáveis	Métodos	Referência
Transparência da coluna d'água *	Disco de Secchi	-
Sólidos Suspensos Totais, Voláteis e Fixos (SST, SSV e SSF)	Gravimétrico - Métodos 2540D e 2540E	APHA (2005)
Carbono Dissolvido Total, Inorgânico e Orgânico (CDT, CDI e CDO)	Método 5310 B – Combustão à alta temperatura	APHA (2005)
Metano	Cromatografia Gasosa	-
Gás Carbônico	Cromatografia Gasosa	-

*:medidas in situ

Para os sólidos, um volume de 500 mL das amostras homogeneizadas sofreram filtração á vácuo com filtros de microfibras de vidro, AP40, diâmetro de 47mm, que anteriormente a análise, sofreram secagem na estufa por duas horas, a 103°C, calcinados na mufla na temperatura de 500°C por 15 minutos, pesados em balança analítica e guardados no dessecador.

Para a análise de carbono orgânico dissolvido, as amostras foram filtradas à vácuo com filtros de Membrana HA em Ésteres de celulose - Nitrato 75-80% e Acetato - 0,45micra, diâmetro de 47 mm, branco e liso e analisadas através do TOC Shimadzu SSM 5000.

Para a coleta de gases na interface água-atmosfera foi desenvolvido um protótipo de câmara estática para avaliar qualitativamente a emissão de gases de efeito estufa na área alagada (Figura 4). A câmara foi montada a partir de um tubo de PVC, DN 150, área de 0,016m² e altura de 0,15m. Para impedir a circulação de gases entre a atmosfera e a lâmina de água, o tubo foi tampado com um CAP apropriado para o mesmo diâmetro e nele foi feito um orifício de aproximadamente 2mm e acoplada uma válvula conectada a um tubo de polietileno de silicone de 0,10m de comprimento e diâmetro de 5mm. Para que a câmara flutuasse na área alagada, usou uma placa de espuma vinílica acetinada (EVA).



Figura 4. Coleta de amostra na Câmara de gás na área alagada em um banco de macrófitas aquáticas.

A coleta de amostras de gás na área alagada foi baseada no princípio do aprisionamento de gases que escapam da coluna d'água em um volume definido durante um determinado intervalo de tempo. Após o tempo de incubação (0, 5, 10 e 15 minutos), ampolas de vidro gasométricas de 350 mL ajustadas às válvulas da câmara foram ajustadas e o volume da matriz gasosa aprisionado. As ampolas foram armazenadas em temperatura ambiente e protegidas da luz em recipiente de isopor até o momento da análise por GC-FID.

Foi utilizado o cromatógrafo gasoso da marca Varian Chrompack CP-3800, calibrado com padrão de metano da White Martins Gases Industriais Ltda. Nitrogênio foi utilizado como gás de arraste e purga da fase

estacionária. A coluna utilizada foi a de Restek Rt-Q-PLOT, (0,53 mm de diâmetro interno; 15 m de comprimento). O detector FID foi alimentado por hidrogênio e ar sintético.

Para a determinação de CH₄, uma alíquota de 15 mL da amostra foi transferida para uma seringa de plástico e injetada no GC-FID. Assim, foi registrado referente ao CH₄ e correlacionado à concentração da espécie na amostra através da calibração.

Para a determinação do CO₂, uma nova alíquota de 15 mL foi tomada da ampola e injetada no GC-FID, sendo habilitada a passagem pela coluna redutora (catalisador de níquel que permite a conversão de CO₂ a CH₄). Dessa forma, é feita a determinação conjunta das duas espécies na forma de CH₄, sendo que a concentração de CO₂ é obtida por diferença antes e após a passagem pela coluna redutora.

Amostras do ar ambiente foram analisadas como amostras de referência para avaliação da precisão do sistema. A Tabela 2 mostra os parâmetros de sistema utilizados na determinação das espécies por GC-FID (WANG & WANG, 2003).

Tabela 2. Parâmetros Operacionais para a quantificação de CH₄ e CO₂ por GC-FID.

Composto de Interesse	CH ₄	CO ₂
Gás de arraste / Fluxo (cm ³ min ⁻¹)	N ₂ (99,999%) / 40	N ₂ (99,999%) / 40
Temperatura da coluna (°C)	55	55
Coluna Redutora / Temperatura (°C)	--	Catalisador de níquel / 375
Temperatura detector FID (°C)	200	200
Fluxo de Ar e H ₂ (cm ³ min ⁻¹)	Ar, 400 H ₂ , 30	Ar, 400 H ₂ , 30

Os fluxos de CH₄ e CO₂ foram calculados a partir da taxa de emissão de cada composto na câmara estática. O fluxo foi calculado a partir da taxa de mudança de concentração das espécies determinada por GC-FID com a variação no tempo de amostragem na câmara utilizando como base a primeira lei de Fick (PARKIN et al., 2003) (Equação 1):

$$F = \rho \left(\frac{V}{A} \right) \left(\frac{dC}{dt} \right) \quad \text{equação (1)}$$

Onde F é o fluxo de gás CH₄ ou CO₂ emitido na superfície da água; ρ é a densidade do ar considerando a temperatura no dia da amostragem; V é o volume interno da câmara; A é a área superficial da câmara exposta à água; e $\frac{dC}{dt}$ a variação da concentração da espécie de interesse em função do tempo de amostragem. Os resultados foram expressos em microgramas ou miligramas de gases-traço por metro quadrado de câmara em contato com a água por hora ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ou $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4A são apresentadas as concentrações médias de sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos fixos (SSF). A estação de coleta 2 foi a que apresentou maiores concentrações de SST (34,67 mg.L⁻¹), enquanto que as estações 1 e 3 as concentrações de SST foram de 6,0 mg.L⁻¹ e 1,33 mg.L⁻¹, respectivamente.

A estação 1 apresenta profundidade total de 2,9 m (Figura 4B), sendo a estação com maior profundidade, cuja transparência da água medida é da ordem de 1,3 m, portanto, a luz consegue penetrar na água aproximadamente até a metade da profundidade total, condizente com os SST obtidos nesta Estação, na faixa de 6,0 mg.L⁻¹. Por outro lado, apesar da estação 2 possuir a menor profundidade (0,20 m), a concentração elevada de sólidos em suspensão na água justifica a baixa transparência da água encontrada em profundidade tão pequena (0,10 m). Por sua vez, na Estação 3 nota-se uma diferença pequena entre a profundidade total (1,5 m) e a profundidade de transparência da água (1,2 m), o que está relacionada com a concentração baixa de sólidos em suspensão total (0,67 SST mg.L⁻¹).

Em relação aos sólidos em suspensão fracionais, nas Estações 1 e 2 apresentaram maiores concentrações de SSF, indicando maiores concentrações de frações inorgânicas. Para a Estação 3, os SSF e SSV obtiveram os mesmos valores.

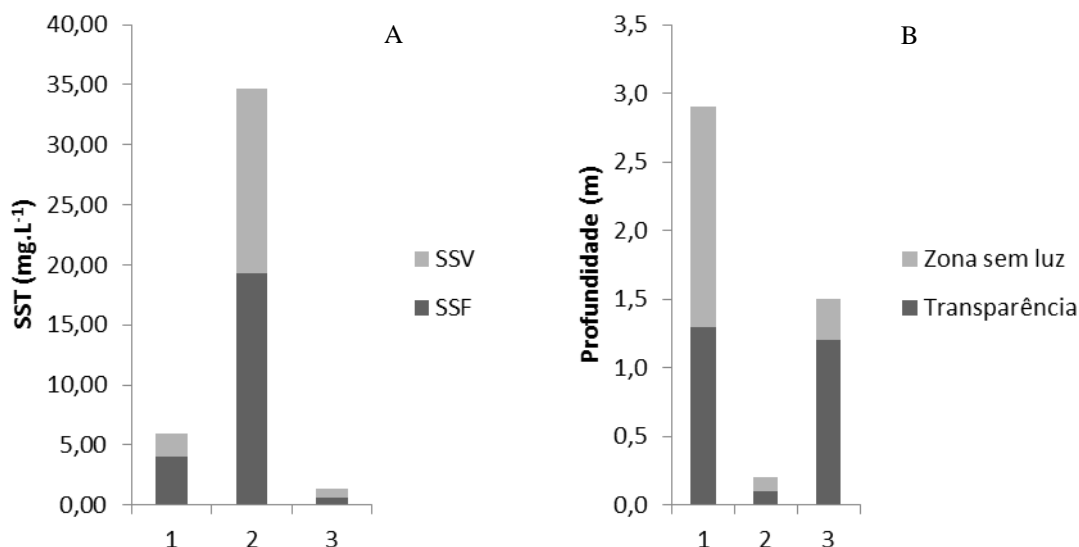


Figura 4. A) Concentrações de SST e B) Relação entre Profundidade e Transparência da Água nas Estações 1, 2 e 3.

Na Figura 5A é possível observar as concentrações de metano na interface ar-água, sendo que a Estação 2 apresentou as concentrações mais elevadas (214,2 $\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$), seguida da Estação 1 (140,3 $\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$). Na Estação 3, por sua vez, não foi possível detectar a concentração de metano abaixo de 62 $\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Similarmente, as concentrações de CO₂ (Figura 5B) seguiram o mesmo padrão, com as concentração maiores na Estação 2 (42,3 $\text{mg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$). Nas Estações 1 e 2, as concentrações deste gás foram 20,8 $\text{mg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e 2,3 $\text{mg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$, respectivamente.

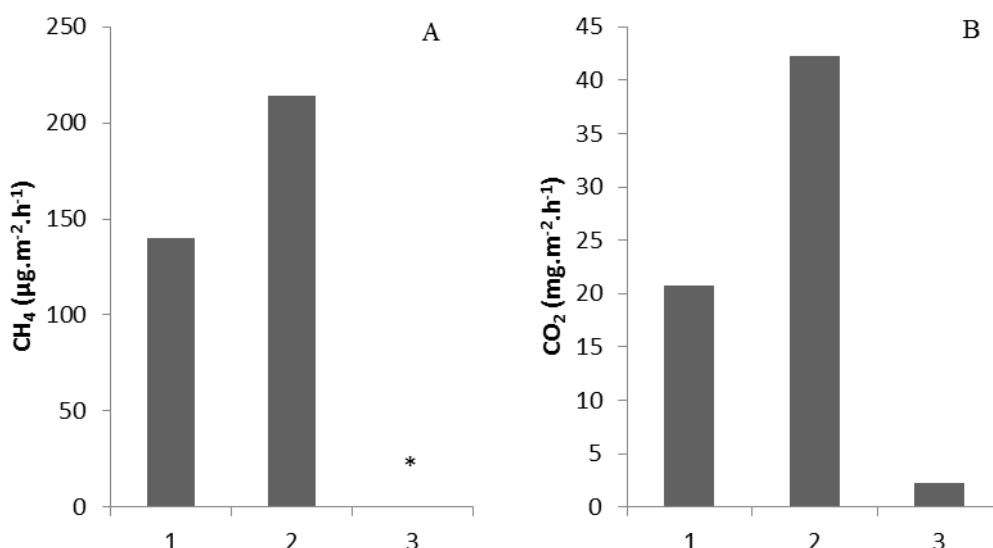


Figura 5. Concentrações médias de Metano, em $\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ (A) e Dióxido de Carbono, em $\text{mg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ (B) na interface Ar-Água nas Estações 1, 2 e 3. *Valor abaixo do nível de detecção do método (62 $\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$).

Na Figura 6A são apresentados os resultados de Carbono nos três compartimentos, água, sedimento e macrófitas aquáticas. No compartimento água (Figura 6A), os valores obtidos se comportam de maneira

análoga à interface água-ar, com concentração maior na Estação 2 (19,04 mg.L⁻¹). Nas Estações 1 e 2, as frações de carbono dissolvido inorgânico foram maiores (6,41 mg.L⁻¹ e 13,28 mg.L⁻¹, respectivamente) enquanto que na Estação 3 a fração orgânica foi levemente superior (7,78 mg.L⁻¹). Esta tendência se observa também nos sólidos em suspensão, com elevada presença de inorgânicos, representados pelo metano e gás carbônico.

Por outro lado, os resultados obtidos nas macrófitas aquáticas e nos sedimentos diferem da água, conforme é apresentado nas Figuras 6B e 6C, com a predominância de carbono orgânico em ambas as matrizes. As macrófitas e os sedimentos apresentaram o mesmo comportamento, com maiores concentrações de carbono orgânico na Estação 1 (349,01 mg.g⁻¹PS, para macrófita e 62,17 mg.g⁻¹PS, sedimento), seguidos pela Estação 2 (327,79 mg.g⁻¹PS, macrófita e 52,78 mg.g⁻¹PS, para sedimento) e finalmente, a Estação 3 é superior em relação as Estações 2 e 3 (303,71 mg.g⁻¹PS e 23,95 mg.g⁻¹PS, respectivamente).

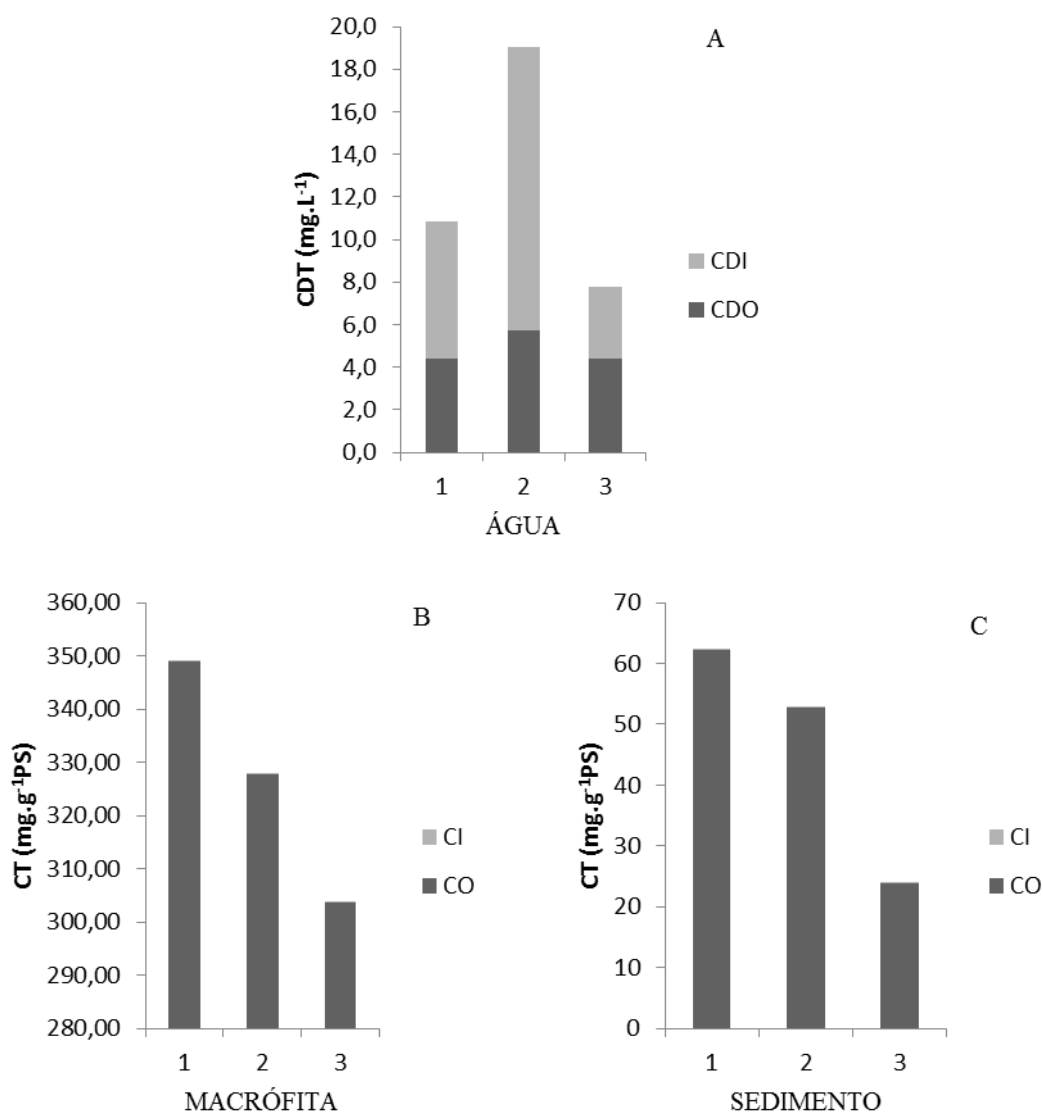


Figura 6. Carbono Total nos Sedimentos, em mg.g⁻¹PS (A), nas Macrófitas, em mg.g⁻¹PS (B) e Carbono Dissolvido Total nas Águas, em mg.L⁻¹ (C) nas Estações 1, 2 e 3.

Observa-se de maneira geral que na Estação 3 é apresentada as menores concentrações de carbono e SST em todos os compartimentos. A baixa concentração de CO₂ nesta Estação se deve provavelmente ao seu consumo pelas macrófitas presentes. A não detecção de metano indica a ausência de metanogênese nesta estação.

Por outro lado, a Estação 2 apresenta as maiores concentrações na água e na interface água-ar. Apesar da pouca profundidade, esta Estação apresentou elevada produção de metano e isto pode ter ocorrido pela elevada concentração de sólidos em suspensão e devido ao aporte de matéria orgânica proveniente de poluição difusa que, possivelmente, permitiram a degradação por via anaeróbia. Conforme Fearnside (2008), o borbulhamento permite que o CH₄ atravesse a barreira da termoclina e com emissões de bolhas muito maiores quando em profundidades mais rasas.

O compartimento com maior concentração de carbono orgânico é o das macrófitas que auxiliam no consumo de CO₂ e quando mortas, são decompostas no sedimento por via aeróbia nas três Estações e anaeróbia nas Estações 1 e 2. As macrófitas aquáticas são apontadas como importantes fontes de detritos autóctones em áreas úmidas e influencia significativamente a dinâmica do CH₄ (BIANCHINI JR et al., 2010; PETRUZZELLA et al., 2013).

O alto teor de carbono orgânico no sedimento indica que esta matriz nas áreas alagadas provavelmente funciona como fonte de dióxido de carbono e metano para a atmosfera.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos conclui-se que a transparência da água é um dos fatores que favorece a metanogênese e, portanto a emissão de metano para a atmosfera.

As concentrações obtidas nas três estações se apresentaram de maneira distinta, sendo que a estação 2 apresentou as maiores concentrações de sólidos e carbono na água; e emissões de gás carbônico e metano, na interface água-ar, tendo como fonte provável a poluição difusa.

A intensa ocupação do solo nas áreas adjacentes ao reservatório da Billings, principalmente na estação 2, com o lançamento de esgoto doméstico, eleva a sua carga poluidora, aumentando a concentração de sólidos em suspensão e a contribuição nas emissões de gás carbônico e metano. Com a possibilidade de elevar a emissão de gases de efeito estufa, soma-se mais uma razão para evitar o descarte de efluente nas áreas alagadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) (Processo número: 475080/2013) pelo suporte financeiro; A UFABC pela bolsa de mestrado da aluna LOPES, T.N.; ao SEMASA pelo suporte no campo; à RABELO, M.C. pela elaboração do mapa; e ao Laboratório BIOTACE – EESC – USP pela assistência em trabalhos laboratoriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 25th edition. Washington: 2005.
2. BIANCHINI Jr., I.; CUNHA-SANTINO, M. B.; ROMEIRO, F.; BITAR, A. L. (2010). As emissões de metano e dióxido de carbono durante a decomposição anaeróbia de macrófitas aquáticas de uma lagoa tropical (São Paulo, Brasil). ACTA LIMNOLOGICA BRASILIENSIS, 22.
3. CAO, M.; GREGSON, K.; MARSHALL, S. (1998). Global methane emission from wetlands and its sensitivity to climate change. ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 32:3293–3299.
4. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade de águas interiores no Estado de São Paulo 2012**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: Novembro, 2013.
5. COWARDIN, L. M.; CARTER, V.; GOLET, F. C.; LAROE, E. T. (1979). Classification of wetlands and Deepwater Habitats of the United States. U. S. Fish and Wildlife Service Biological Services Program Report FWS/ OBS-79/31, Washington, DC.
6. FEARNSIDE, P. M. (2008) Hidrelétricas como “Fabricas de Metano” e o papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. OECOLOGIA BRASILIENSIS, 12, 100-115.

7. HAMMER, D. A.; BASTIAN, R. K. (1989). Wetlands ecosystems: natural water purifiers? In: Constructed wetlands for waster treatment: municipal, industrial and agricultural. Lewis Publishers, p. 5-19.
8. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Calculadora Geográfica. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/calcula/>>. Acesso em Janeiro, 2015.
9. KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. (1996). Treatment wetlands. CRC, Boca Raton.
10. KAYRANLI, B.; SCHOLZ, M.; MUSTAFA, A.; HEDMARK, A. (2010). Carbon Storage and Fluxes within Freshwater Wetlands: a Critical Review. WETLANDS 30:111–124.
11. MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, 2013. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/nacional/226591.pdf>>. Acesso em: Maio, 2015.
12. MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. (2000). Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York, 4rd ed., 920p.
13. PARKIN, T.B, VENTEREA, R.T. (2010). USDA-ARS GRACEnet Project Protocols Chapter 3 Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements. Disponível em <<http://www.ars.usda.gov>>. Acesso em Fevereiro, 2015.
14. PETRUZZELLA, A.; MARINHO, C. C.; SANCHES, L. F.; MINELLO, M; ESTEVES, F. A. (20130). Magnitude e variabilidade da produção e concentração de etano no sedimento de lagoas costeiras tropicais. ACTA LIMNOLOGICA BRASILIENSIA 25.
15. REDDY, K. R.; DELAUNE, R. D. (2008). **Biogeochemistry of wetlands: science and applications**. CRC, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
16. SANTOS, M. A.; ROSA, L. P.; MATVIENKO, B.; SANTOS, E. O; ROCHA, C. H. E. D., SIKAR, E.; SILVA, M. B.; JUNIOR, A. M. P. B. (2008). Emissões de Gases de Efeito Estufa por Reservatórios de hidrelétricas. O ECOL. BRAS., 12(1): 116-129.
17. SMA - Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Educação Ambiental. **Billings**. São Paulo: SMA/CEA, 2010.
18. STEINKE, V. A.; SAITO, C. H. (2008). Polluting load exportation of humid areas under environmental risk in the river basin of Lagoa Mirim. SOCIEDADE E NATUREZA, 20:43-67.
19. WANG, Y. & WANG, Y. (2003). Quick Measurement of CH₄, CO₂ and N₂O Emissions from a Short-Plant Ecosystem. ADVANCES IN ATMOS. SCI., 20 (5) 842–844.
20. WHALEN, S. C. (2005). Biogeochemistry of methane exchange between natural wetlands and the atmosphere. ENVIRONMENTAL ENGINEERING SCIENCE, 22:73–94.
21. WYNN, T. M.; LIEHR, S. K. (2001). Development of a constructed subsurfaceflow wetland simulation model. ECOLOGICAL ENGINEERING, 16:519–536.
22. WHITTING, G. J.; CHANTON, J. P. (2001). Greenhouse carbon balance of wetlands: methane emission versus carbon sequestration. TELLUS, 53:521–528.