



Análise da influência de parâmetros ambientais no fluxo de metano em áreas alagáveis e lagoas permanentes na região do Rio Abobral, no Pantanal, Brasil

doi:10.4136/ambi-agua.1775

Received: 05 Oct. 2015; Accepted: 20 Jan. 2016

**Marcelo Gomes da Silva^{1*}; Plínio Carlos Alvalá²;
Luciano Marani²; Willian José Ferreira²**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil

¹Departamento de Geofísica Espacial (DGE)

²Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST)

*Autor correspondente: e-mail: engmarcgomes@gmail.com,
carlos.alvala@gmail.com, lmarani@gmail.com, will.ferreira@hotmail.com

RESUMO

Neste estudo foi analisada a influência de características físico-químicas da coluna d'água nos processos que resultam na emissão de metano no Pantanal. Foram realizadas duas campanhas intensivas de coleta de dados durante os anos de 2009 e 2010, correspondendo aos períodos de seca e cheia. O fluxo de metano foi determinado usando a técnica de câmara estática. Em cada ponto de coleta foi medida a profundidade, temperatura da água, pH, potencial de oxirredução, oxigênio dissolvido e total de sólidos dissolvidos. Os fluxos foram classificados em difusivos e ebulitivos, com média de $11,1 \pm 13,5 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e $275,9 \pm 348,5 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente, que é um valor próximo ao observado em outras regiões alagadas tropicais. A aplicação de teste t mostrou diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) entre os dois períodos, com os maiores valores médios ocorrendo na estação de cheia. Durante o período de seca houve um predomínio de fluxos difusivos (83%) em relação aos ebulitivos. Na cheia ocorreram mais casos de fluxo ebulitivo (77%). As análises estatísticas de correlação e Análise de Componentes Principais demonstraram que as interações entre características físico-químicas da água podem influenciar o fluxo de metano. Os fluxos difusivos apresentaram correlação principalmente com pH, potencial de oxirredução e oxigênio dissolvido, que estão de acordo com o aumento de matéria orgânica durante o alagamento do Pantanal. Fluxos ebulitivos no período da seca tiveram influência da profundidade, temperatura da água, pH e potencial de oxirredução que indicam que o ambiente foi propício para a formação de bolhas ou para sua liberação do sedimento.

Palavras-chave: ciências ambientais, indicadores ambientais, mudanças globais, química ambiental.

Analysis of the influence of environmental parameters on methane flux from floodplains and lakes in the Abobral River, Pantanal, Brazil

ABSTRACT

This study evaluates the influence of physical and chemical characteristics of the water column in the processes that result in methane emissions in the Pantanal. Two surveys were

conducted in 2009 and 2010, corresponding to the drought and flood seasons, respectively. The CH₄ fluxes were determined using the static chamber technique. Environmental variables, such as depth, water temperature, pH, redox potential, dissolved oxygen and total dissolved solids were also measured. Diffusive and bubble flux presented an average value of $11.1 \pm 13.5 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e $275.9 \pm 348.5 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, which is a value near those observed in other tropical flooded regions. Statistical t-tests have shown significant differences between drought and flood seasons ($p \leq 0.05$). Diffusive fluxes represented about 87% of the total fluxes measured in drought. During the flood season there were more instances of bubble fluxes (77%). Statistical analysis (correlation and Principal Components Analysis) indicate that physical and chemical characteristics could affect methane fluxes. Diffusive fluxes correlated mainly with pH, redox potential and dissolved oxygen, which is in accordance with the increase of organic matter during flooding. Bubble fluxes measured during the drought season correlated mainly with water depth and temperature, pH and redox potential, which is an indication of an environment to suitable to the formation and liberation of the bubbles from sediment.

Keywords: environmental chemistry, environmental indicators, environmental sciences, global changes.

1. INTRODUÇÃO

O metano (CH₄) é o hidrocarboneto mais abundante na atmosfera terrestre, com razão de mistura em torno de 1800 ppbv (partes por bilhão por volume) (NOAA, 2014), e um dos principais gases indutores do efeito estufa, responsável por cerca de 20% do aquecimento global (Dalal e Allen, 2008; IPCC, 2007). A emissão de metano para a atmosfera está relacionada a diversas fontes, naturais e antropogênicas, sendo as principais a queima de carvão e combustíveis fósseis, aterros sanitários, cultivo de arroz, cupins e ruminantes (Wuebbles e Hayhoe, 2002). Destas, a maior fonte individual de metano para a atmosfera são as áreas alagadas (rios, lagos e pântanos), com contribuição de 100 a 231 Tg ano⁻¹, correspondendo a 20-30% das emissões naturais biogênicas do gás (IPCC, 2007; Wuebbles e Hayhoe, 2002).

Em ambientes aquáticos, a produção de metano ocorre no substrato, por ação de microrganismos que degradam macromoléculas da matéria orgânica existente no meio em compostos menores (ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio). Estes compostos são processados por microrganismos metanogênicos (Domínio Archaea) dando origem ao metano, que com baixa solubilidade em água, tende a ser liberado para a atmosfera (Thauer et al., 2008; Conrad, 1999).

Quando o gás contido no substrato é transportado para a superfície por meio de bolhas, o fluxo é classificado como ebulitivo. Porém, parte do metano produzido se dissolve e é transportado através da coluna d'água via difusão (fluxos difusivos) (Belger et al., 2011; Dalal e Allen, 2008; Abril et al., 2006). Diversos estudos consideram que características físico-químicas do meio possam influenciar a produção e o consumo do metano na coluna d'água, afetando a emissão do gás para a atmosfera, independente do sistema de transporte (Dalal e Allen, 2008; Bastviken et al., 2004; Yang e Chang, 1998; Wang et al., 1993; Bartlett et al., 1988).

Com grande interesse mundial devido às suas potenciais emissões de metano, Bacia Amazônica e Pantanal são destacadas como principais áreas naturalmente alagáveis do Brasil. Enquanto estudos realizados a partir da década de 1980 estimam a produção amazônica em 30 Tg CH₄ ano⁻¹ (Melack et al., 2004; Devol et al., 1988; Bartlett et al., 1988), poucos foram os estudos que investigaram o processo de emissão do gás na planície pantaneira (Marani e

Alvalá, 2007; Alvalá e Kirchhoff, 2000).

O Pantanal é uma planície sedimentar aluvial parcialmente alagável, localizada na bacia do rio Paraguai, predominantemente na região Centro-Oeste do Brasil e com áreas menores na Bolívia e Paraguai. Sua área total é de aproximadamente 138 mil km², dos quais a área máxima sob possibilidade de alagamento é de quase 131 mil km², com média anual da área inundada sazonalmente de aproximadamente 35 mil km² (Hamilton, 2002).

A baixa declividade da planície, que varia entre 80 e 120 m acima do nível do mar, associada com a falta de gradiente hidráulico, são responsáveis pelo lento escoamento das águas na bacia, o que faz com que considerável parte da bacia permaneça alagada na maior parte do ano. O pico da inundação ocorre em março, no final do período chuvoso (Hamilton et al., 2002; Calheiros e Ferreira, 1996; Rao et al., 1996), mas, durante o período de cheia, vegetação e restos animais são submersos, podendo constituir-se como principal fonte de nutrientes para a produção de metano.

Aliada a entrada de matéria orgânica no sistema, a temperatura da água é apontada como um fator que influencia diretamente a atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, a produção do metano no substrato, numa faixa ótima entre 15 e 37°C (Agostinetto et al., 2002; Yang e Chang, 1998). Outros parâmetros, no entanto, podem ter importância no desempenho dos microrganismos metanogênicos e metanotróficos.

O pH ideal para a produção do metano encontra-se próximo à neutralidade mas pode haver inibição quando os valores são inferiores à 3,2 (meio ácido) ou superior à 9,3 (meio básico) (Yang e Chang, 1988; Wang et al., 1993). O processo de inibição também pode estar associado à concentração de oxigênio dissolvido na água (Agostinetto et al., 2002). A presença de O₂ provoca a suspensão da metanogênese por parte das arqueas, além de aumentar a probabilidade de oxidação do CH₄ que é transportado por processo de difusão na água. De forma análoga, o potencial de oxirredução é uma medida que indica o grau de redução ou oxidação do meio. Assim, estes parâmetros ambientais se inter-relacionam.

O total de sólidos dissolvidos é uma medida da concentração de substâncias iônicas em meio aquoso e tem relação com a turbidez da água, com efeitos na taxa de fotossíntese, que afeta a concentração de dióxido de carbono na água (Parron et al., 2011; Thauer et al., 2008; Conrad, 1999). De forma análoga, o potencial de oxirredução é uma medida que indica o grau de redução ou oxidação do meio. Solos extremamente oxidados tem potencial de redução na faixa de +400 a +700 mV enquanto solos inundados podem ter caráter redutor, com valores menores que -300 mV devido à ausência de oxigênio. Tanto microrganismos metanogênicos quanto metanotróficos dependem da disponibilidade de compostos químicos doadores/receptores de elétrons para realizar as reações de obtenção de carbono e energia que resultam na produção ou consumo do metano na água (Agostinetto et al., 2002).

Neste trabalho são apresentados a avaliação da influência de algumas características físico-químicas da água nos fluxos de metano durante os períodos de seca e cheia no Pantanal Sul Mato-grossense, importante na avaliação do potencial de emissão de gases do efeito estufa de áreas alagáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As medidas de fluxo de metano foram feitas em áreas alagáveis e lagoas permanentes na sub-região do Abobral, próximo à localidade do Passo do Lontra, entre as cidades de Miranda e Corumbá, no estado do Mato Grosso do Sul. A área de coleta está sob influência das bacias do Rio Miranda e do Rio Negro (Figura 1). Dos locais de amostragem, uma lagoa permanente e uma área alagável ficam sob influência do Rio Miranda durante o período da cheia. Os demais, são localizados na bacia do Rio Negro. A Base de Estudos do Pantanal – BEP (19°34'S, 57°01'O), da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) foi utilizada

para logística e acomodações durante as duas campanhas intensivas de coleta de dados, sendo a primeira realizada em setembro de 2009 e a segunda em março de 2010, correspondendo ao período de seca e cheia, respectivamente, no sul do Pantanal.

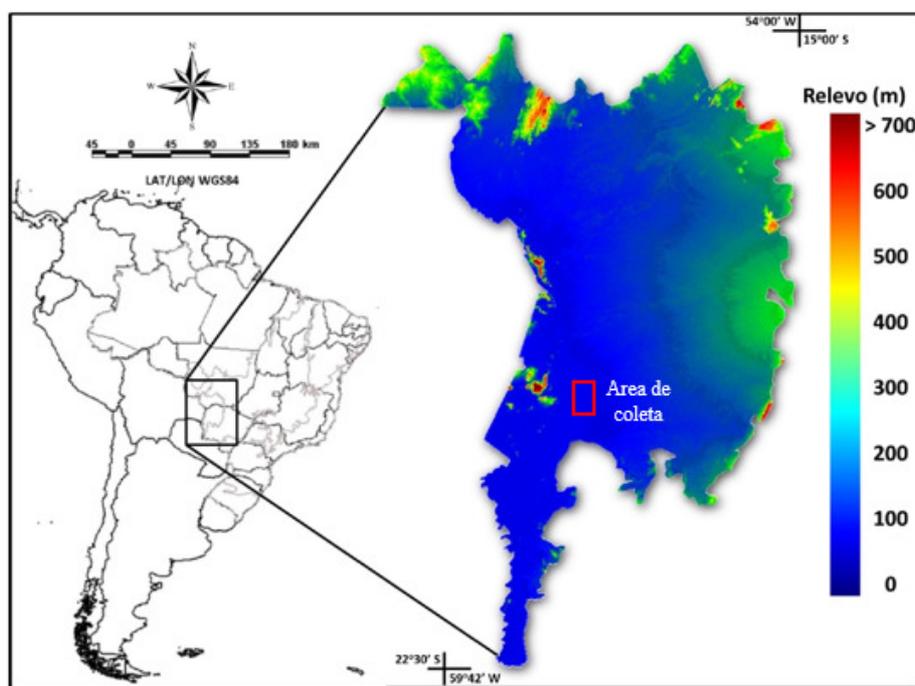


Figura 1. Localização e gradiente topográfico do Pantanal. A área de coleta, na sub-região do Abobral está destacada na figura.

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2012).

O fluxo de metano foi determinado através da técnica de câmara estática descrita por Khalil et al. (1998) e Marani e Alvalá (2007). Neste estudo foram utilizadas câmaras cilíndricas de policloreto de polivinila (PVC), com volume de 26 litros, área de 0,066 m², recoberta com manta térmica para evitar variações de temperatura no interior e equipada com flutuadores externos acoplados na base para sustentação na água. A medição do fluxo consiste em retirar amostras de ar do interior da câmara em intervalos constantes. A coleta do ar era realizada através de um tubo de teflon instalado à meia altura da câmara com o auxílio de uma seringa de poliuretano de 60 ml, equipada com torneira de três vias e trava do tipo “luerlock”. O tempo de coleta em que a câmara permanecia na água era de 15 minutos. Neste intervalo eram coletadas 4 amostras de ar, sendo a primeira no minuto inicial e as posteriores em 5, 10 e 15 minutos, com o intuito de obter a variação da razão de mistura do metano no interior da câmara em função do tempo e numa área de dimensão conhecida. Trabalhos mais recentes utilizam adaptações na câmara estática para a obtenção dos fluxos difusivos (Bastviken et al., 2010), que consistem na instalação de um escudo plástico sob a superfície da água (a uma profundidade entre 50 e 70 cm) que defletem as bolhas provenientes dos sedimentos.

As amostras de ar foram transportadas para o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP. A análise foi realizada em um cromatógrafo a gás (Shimadzu, GC-14A) equipado com detector de ionização de chama (DIC), equipado com um *loop* de amostragem de 2,5 ml e duas colunas de aço inoxidável, com 1/8 polegada de diâmetro. A primeira coluna, com comprimento de 2,5 metros, é preenchida com gel de sílica e tem a finalidade de reter vapor d’água, dióxido de carbono (CO₂) e compostos de carbono mais pesado que o metano. A segunda é uma coluna empacotada com peneira molecular de zeolite de 5 Å (Ângstrons), com 3 metros de

comprimento, e responsável pela separação cromatográfica dos gases da amostra. Para cada seringa foram analisadas 3 alíquotas com precisão de 0,7% ou melhor (Alvalá et al., 2004).

A validação dos fluxos e a determinação quanto ao tipo de transporte na coluna d'água foram realizados utilizando dois critérios. O primeiro considerou que o fluxo difusivo é caracterizado pela correlação linear entre a variação da razão de mistura e o tempo de coleta, expresso matematicamente pelo quadrado do coeficiente de correlação (R^2) igual ou superior a 0,9. O segundo critério utilizado para validar o fluxo define que a razão de mistura do ar ambiente e no minuto inicial de coleta deve ter valores próximos significando que não houve perturbação da superfície da água durante a deposição da câmara estática. Os fluxos que não cumpriram o primeiro critério, mas tiveram a primeira amostra de ar com razão de mistura próxima à do ar ambiente foram considerados fluxos ebulitivos (Marani e Alvalá, 2007; Sass et al., 1992). Neste método, pode-se separar entre os dois meios de transporte e estimar um valor médio para o fluxo ebulitivo. Bastviken et al. (2010) sugere que esta forma de obtenção de fluxos ebulitivos podem subestimar a emissão de metano por bolhas, logo, os resultados aqui apresentados representam uma estimativa para o limite inferior de emissões ebulitivas.

Nos pontos de amostragem também foram realizadas medições de características físico-químicas da coluna da água: profundidade, temperatura da água, pH, potencial de oxirredução (ORP), oxigênio dissolvido (OD) e total de sólidos dissolvidos (TSD). A profundidade foi medida com o auxílio de uma régua graduada enquanto que os demais parâmetros foram medidos com uma sonda multiparâmetros de qualidade de água da marca Horiba, modelo U-51.

A influência das variáveis ambientais na emissão de metano foi avaliada por Teste de Correlação e por Análise de Componentes Principais (ACP), conforme método descrito por Wilks (2006). Nesta etapa procurou-se reduzir as interdependências entre as variáveis por combinações lineares das variáveis originais e obter sua importância no processo de emissão de metano. As matrizes de correlação criadas para cada grupo permitiram a obtenção de 90% da informação significativa com apenas dois ou três fatores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas campanhas de coleta de dados resultaram em 712 amostras de ar que foram utilizadas para obter 165 fluxos, dos quais 147 foram validados. Destes, 76 fluxos foram classificados como puramente difusivos, com valores de 1,3 a 71,5 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ e valor médio de 11,1 ± 13,5 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ (mediana de 6,3 mg CH₄ m⁻² d⁻¹). Os demais 71 fluxos apresentaram a ocorrência de bolhas sendo classificados como ebulitivos, com valores de 31,2 a 2.098,7 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ e valor médio de 275,9 ± 348,5 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ (mediana de 149,8 mg CH₄ m⁻² d⁻¹). A comparação entre as médias dos fluxos obtidos na Bacia do Rio Miranda (difusivo: 17,3 ± 36,2 mg CH₄ m⁻² d⁻¹; ebulitivo: 219,5 ± 202,5 mg CH₄ m⁻² d⁻¹) com os obtidos na bacia Rio Negro (difusivo: 15,2 ± 23,2 mg CH₄ m⁻² d⁻¹; ebulitivo: 292,7 ± 398,1 mg CH₄ m⁻² d⁻¹) não apresentaram diferença significativa.

Os fluxos apresentaram comportamento diferente entre as estações e estão de acordo com os resultados obtidos por outros pesquisadores, os quais observaram que as quantidades liberadas de metano por fluxos ebulitivos são maiores do que no fluxo difusivo (Marani e Alvalá, 2007; Bastviken et al., 2004; Alvalá e Kirchhoff, 2000).

Durante o período de seca (campanha de setembro de 2009), aproximadamente 83% dos fluxos (n = 58) foram classificados como difusivos, variando de 1,3 a 31,6 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ e média de 7,2 ± 5,7 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ (mediana = 5,5 mg CH₄ m⁻² d⁻¹). No período da cheia (campanha realizada em março de 2010), houve um número menor de fluxos difusivos (n = 18), porém a média foi maior, 23,7 ± 21,8 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ (mediana = 12,4 mg CH₄ m⁻² d⁻¹), com variação de 1,8 a 71,5 mg CH₄ m⁻² d⁻¹.

A ocorrência de fluxos ebulitivos no período de seca foi de 17% ($n = 12$), com variação entre $31,2$ e $246,0 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, média de $112,2 \pm 75,7 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (mediana = $101,8 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). No período da cheia houve um aumento expressivo do número de casos de ebulitivos ($n = 59$), aproximadamente 77% do total de fluxos, assim como do valor médio em relação à seca, $309,2 \pm 372,6 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (mediana = $172,2 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), com variação de $38,8$ a $2.098,7 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. A aplicação do teste t para comparação das médias mostrou que houve diferença estatística significativa entre as duas estações, assumindo-se um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$).

Com a diferença observada entre as estações de seca e cheia, optou-se por analisar os parâmetros ambientais em cada estação. Os boxplots para profundidade, temperatura da água, pH, ORP, OD e TSD são mostrados na Figura 2.

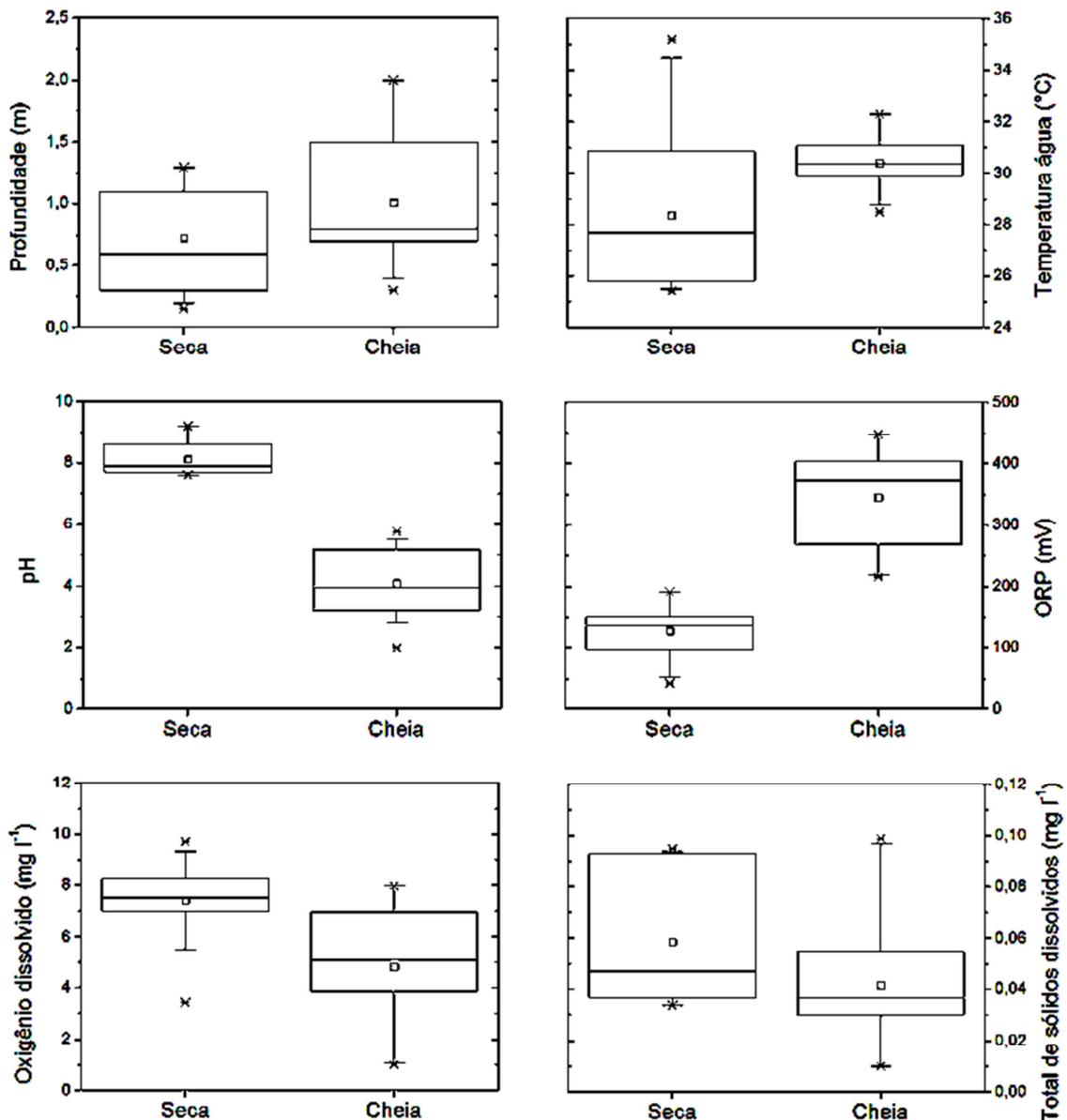


Figura 2. Variação dos parâmetros ambientais no período de seca e cheia no Pantanal, na sub-região do Abobral, Corumbá, Mato Grosso do Sul.

A aplicação do teste t de Student mostrou que houve diferença estatística significativa

($p \leq 0,05$) entre os dois períodos para todos os parâmetros medidos.

3.1. Análise da influência dos parâmetros ambientais no fluxo

Para estudar a influência das variáveis ambientais medidas neste estudo no fluxo de metano, o primeiro passo foi a realização de testes de correlação entre cada variável e os fluxos medidos em cada ponto de coleta (Tabela 1).

Tabela 1. Valores do teste de correlação entre parâmetros ambientais e os fluxos e para cada estação (seca e cheia) no Pantanal, na sub-região do Abobral, Corumbá, Mato Grosso do Sul. Os valores que apresentaram $p \leq 0,05$ foram marcados em negrito.

Parâmetros	Difusivo (seca+cheia)	Ebulitivo (seca+cheia)	Difusivo		Ebulitivo	
			Seca	Cheia	Seca	Cheia
Profundidade	-0,01	-0,07	0,19	-0,38	-0,48	-0,15
Temp Água	0,18	0,21	-0,22	-0,07	0,63	0,36
pH	-0,53	-0,18	-0,16	-0,10	0,66	-0,01
ORP	0,59	0,17	0,31	0,33	-0,67	0,03
OD	-0,42	-0,08	-0,24	-0,02	0,20	-0,01
TSD	-0,27	-0,19	-0,17	-0,27	0,48	-0,20

A correlação direta mostrou que a maioria dos parâmetros ambientais medidos não apresentou significância estatística ($p \leq 0,05$) com os fluxos. Algumas exceções foram observadas, como no caso de fluxos difusivos (considerando todos os casos tanto na seca quanto na cheia) que tiveram correlação moderada com pH, ORP e OD, e para ebulitivos na seca que apresentaram correlação moderada com a temperatura da água, pH e ORP.

A dificuldade em estudar um sistema complexo como o Pantanal deve-se ao fato que cada parâmetro pode causar alterações na relação de produção e consumo do gás metano na coluna d'água.

3.2. Análise de Componentes Principais (ACP)

Os parâmetros medidos neste trabalho podem ser utilizados como indicadores de fatores que influenciam tanto a produção quanto o consumo de metano no ambiente. Além disso, estes fatores se inter-relacionam. Com a utilização da ACP pretendeu-se reduzir a variância do sistema com intuito de destacar o conjunto de parâmetros ambientais com maior influência no fluxo de metano. A Figura 3 apresenta a projeção das variáveis ambientais em relação às componentes principais para fluxos difusivos e ebulitivos nos períodos de seca e cheia.

Os resultados da ACP (Figura 3) mostraram que a variação dos fluxos difusivos (considerando tanto os obtidos na seca quanto na cheia) teve alta correlação com a Componente 1 ($r = 0,70$; $p = 0,00$). Apesar de todas as variáveis ambientais apresentarem algum grau de influência, os parâmetros com maior peso foram o pH (0,97), OD (0,77) e ORP (-0,94). A dominância destas variáveis ambientais indica que a variação do fluxo difusivo pode estar associada ao incremento e espalhamento de matéria orgânica e nutrientes durante a época da cheia. O alagamento da região resulta na decomposição de restos animais e de espécies vegetais crescidas durante a seca (Calheiros e Ferreira, 1996; Agostinho et al., 1995). Quando inserida num meio aquoso, a matéria orgânica age como um agente redutor do meio consumindo o oxigênio dissolvido. Esta reação também é responsável pela liberação de íons na água que resultam na alteração do valor de pH. Segundo Langmuir (1997), o declínio do pH em solos alcalinos está associado ao aumento da pressão parcial de CO_2 . Esta relação está

coerente com os dados obtidos neste trabalho onde foi observado que durante a cheia houve um aumento no valor de ORP, diminuição da concentração de OD e acidificação do meio, em relação à seca. A influência destes parâmetros entre as duas estações resultou num aumento da média do fluxo difusivo de $7.2 \pm 5.7 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (seca) para $23.7 \pm 21.8 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (cheia). Para fluxos ebulitivos, a análise da ACP não evidenciou correlação significativa com as componentes que explicasse a variação do fluxo.

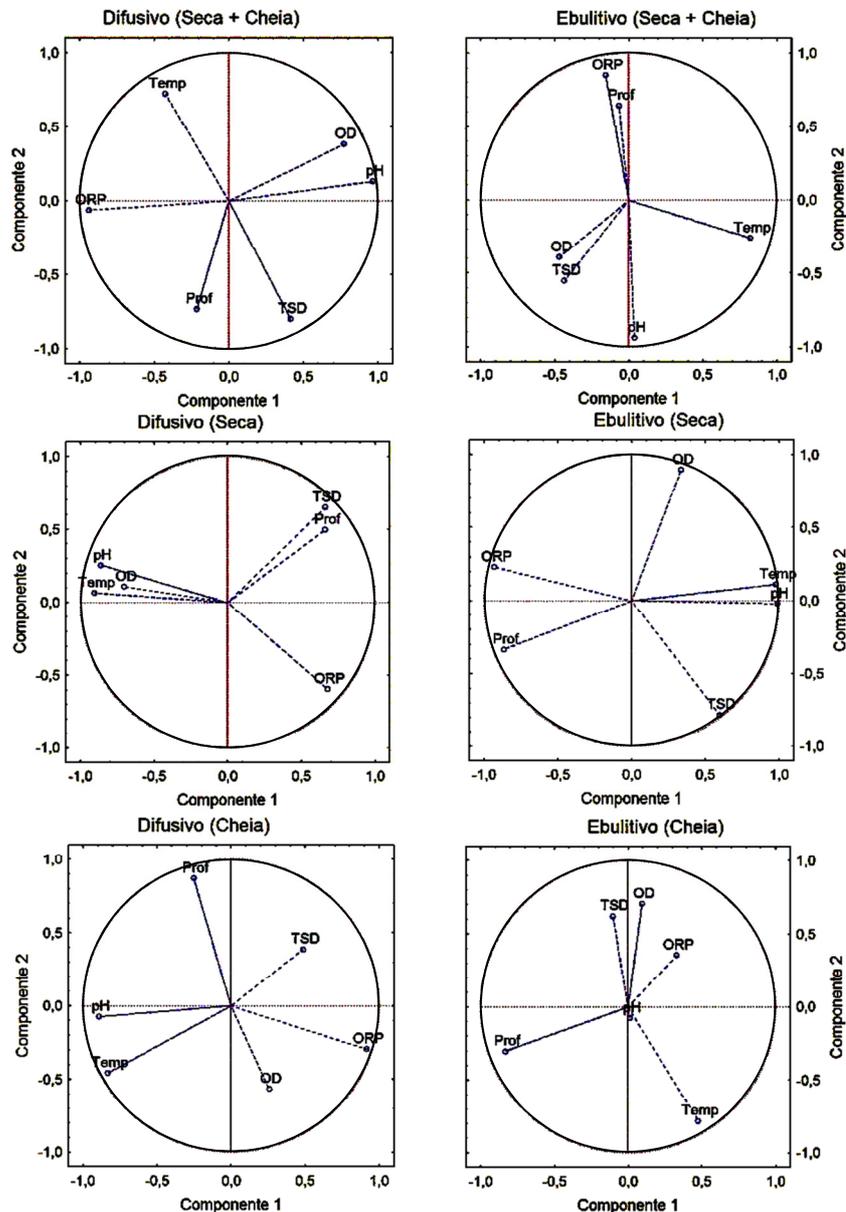


Figura 3. Projeção das variáveis ambientais na primeira e segunda componente principal para fluxos difusivos e ebulitivos nos períodos de seca e cheia do Pantanal, na sub-região do Abobral, Corumbá, Mato Grosso do Sul.

A ACP também foi aplicada para analisar o comportamento dos fluxos difusivos e ebulitivos em cada estação. Quando a ACP foi aplicada para as medidas realizadas durante a estação seca, verificou-se que nenhum grupo de parâmetros ambientais apresentou correlação significativa com os fluxos difusivos. O mesmo resultado foi obtido tanto para os fluxos difusivos quanto os fluxos ebulitivos na estação da cheia. Apenas no conjunto de medidas de

fluxos ebulitivos na estação seca verificou-se a ocorrência de correlação entre os fluxos e a componente 1 ($r = 0,66$; $p = 0,02$). Os parâmetros com maior peso na Componente 1, como destacado na Figura 3, foram a profundidade (-0,87), temperatura da água (0,98), pH (0,99) e ORP (-0,93). A ocorrência de profundidades menores implica numa diminuição da pressão hidrostática que resulta numa maior probabilidade da bolha se desprender do sedimento (Dalal e Allen, 2008). O aumento da temperatura da água pode aumentar a produção de metano, além de poder induzir turbulência na água, fazendo com que as bolhas sejam liberadas (Abril et al., 2006; Devol et al., 1988). Este fato está coerente com a diminuição da temperatura da água no decorrer da campanha de coleta de dados na seca devido à entrada de uma frente fria que resultou em chuvas na região. O valor médio da temperatura da água nos primeiros dias de campanha foi de aproximadamente 30°C e passou para 26°C após as chuvas. Com relação ao pH e ORP, foi observado que os maiores valores de fluxo ocorreram em locais onde o pH era básico, próximo do valor 9 na escala, enquanto que o ORP apresentava valores positivos, mas próximos de zero, que indicavam que o ambiente estava pouco oxidado. O fluxo ebulitivo, diferente de difusivos, não está sujeito à oxidação no transporte devido à rápida passagem pela coluna d'água. Entretanto, o metano presente nas bolhas que estão presas ao sedimento pode ser consumido por reações de oxidação na interface de contato com a água. Desta forma, a diminuição de agentes oxidantes na água tende a diminuir a probabilidade do consumo de CH₄ retido na forma de bolha até que ele se desprenda e seja transportado para a superfície da coluna d'água.

Os conjuntos de parâmetros ambientais que apresentaram valores estatisticamente significativos de correlação com o fluxo de metano foram os mesmos em ambas as análises. Assim, as características físico-químicas que podem influenciar o balanço entre os processos de produção e consumo de metano, ao se considerar o transporte difusivo em ambientes aquosos, foram principalmente o pH, ORP e OD, que são indicativos do aumento da disponibilidade de matéria orgânica entre as estações de seca e cheia em decorrência do alagamento do Pantanal e, portanto, favorecem a produção.

A influência dos parâmetros ambientais também pôde ser verificada nos valores de fluxo ebulitivo no período da seca onde os maiores valores de fluxo foram observados em locais com temperatura da água maior, pH básico, menor índice de oxidantes na água e profundidades menores. A relação destes parâmetros sugere que as bolhas que são formadas encontram menor resistência para se desprender do substrato antes que ocorra o consumo na interface de contato entre a bolha e a água.

4. CONCLUSÃO

A medição do fluxo de metano na sub-região do Abobral nos anos de 2009 e 2010 mostrou que o transporte difusivo através da coluna d'água ocorreu com mais frequência no período da seca (83%), enquanto que na cheia houve um predomínio de fluxos ebulitivos (77%). O valor médio de fluxo para ambas as formas de transporte foi significativamente maior no período da cheia. No desenho experimental utilizado não é possível a coleta separada de fluxos difusivos e ebulitivos e assim, destaca-se que os valores obtidos para o fluxo ebulitivo podem ser subestimados. Mesmo assim, estes resultados são importantes ao destacar os parâmetros ambientais que podem estar relacionados à emissão de metano em corpos d'água.

As análises estatísticas mostraram que é possível obter um conjunto de parâmetros ambientais relacionados com os processos de produção e consumo de metano na água. Estes parâmetros se mostraram dependentes do ciclo de alagamento anual da área de amostragem, devido à distribuição e decomposição de matéria orgânica, e podem ser diferentes quando

considerado o mecanismo de transporte e a estação do ano.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao CNPq pelo apoio financeiro (Proc. N° 475976/2008-8), ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pela utilização logística da Base de Estudos do Pantanal (BEP).

6. REFERÊNCIAS

- ABRIL, G.; RICHARD, S.; GUÉRIN, F. In situ measurements of dissolved gases (CO₂ and CH₄) in a wide range of concentrations in a tropical reservoir using an equilibrator. **Science of the Total Environment**, v. 354, p. 246-251, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.051>
- AGOSTINETTO, D.; FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; BALBINOT JR., A. A. Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 1073-1081, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000600026>
- AGOSTINHO, A. A.; VAZOLLER, A. E. A. M.; THOMAZ, S. M. The high Paraná river basin: limnological and ichthyological aspects. In: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (Eds.). **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995. p. 59-104.
- ALVALÁ, P. C.; KIRCHHOFF, W. V. J. H. Methane fluxes from the Pantanal floodplain in Brazil: seasonal variation. In: VAN HAM, J. et al. (Eds.) **Non-CO₂ Greenhouse gases: scientific understanding, control and implementation**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 95-99. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-015-9343-4_6
- ALVALÁ, P. C.; BOIAN, C.; KIRCHHOFF, V. W. J. H. Measurements of CH₄ and CO₂ during ship cruises in the South Atlantic. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 4583-4588, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.042>
- BARTLETT, K. B.; CRILL, P. M.; SEBACHER, D. I.; HARRIS, R. C.; WILSON, J. O.; MELACK, J. M. Methane flux from the central Amazonian floodplain. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, p. 1571-1582, 1988. <http://dx.doi.org/10.1029/JD093iD02p01571>
- BASTVIKEN, D.; COLE, J.; PACE, M.; TRANVIK, L. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and global estimate. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 18, p. 1-12, 2004. <http://dx.doi.org/10.1029/2004GB002238>
- BASTVIKEN, D.; SANTORO, A. L.; MAROTTA, H.; PINHO, L. Q.; CALHEIROS, D. F.; CRILL, P. et al. Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling. **Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 14, p. 5450-5455, 2010. <http://dx.doi.org/10.1021/es1005048>
- BELGER, L.; FORSBERG, B. R.; MELACK, J. M. Carbon dioxide and methane emissions from interfluvial wetlands in the upper Negro River basin, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, p. 171-183, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s10533-010-9536-0>

- CALHEIROS, D. F.; FERREIRA, C. J. A. **Alterações limnológicas no rio Paraguai (“dequada”) e o fenômeno natural de mortandade de peixes no Pantanal Mato-Grossense – MS.** Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1996. p. 51. (Boletim de Pesquisa, 7).
- CONRAD, R. Contribution of hydrogen to methane production and control of hydrogen concentrations in methanogenic soils and sediments. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 28, p. 193-202, 1999. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6941.1999.tb00575.x>
- DALAL, R. C.; ALLEN, D. E. Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems. **Australian Journal of Botany**, v. 56, p. 369-407, 2008. <http://dx.doi.org/10.1071/BT07128>
- DEVOL, A. H.; RICHEY, J. E.; CLARK, W. A.; KING, S. L.; MARTINELLI, L. A. Methane emissions to the troposphere from the Amazon floodplain. **Journal Of Geophysical Research**, v. 93, n. D2, p. 1583-1592, 1988. <http://dx.doi.org/10.1029/JD093iD02p01583>
- HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Comparison of inundation patterns among major South American floodplains. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. 1-14, 2002. <http://dx.doi.org/10.1029/2000JD000306>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2007: the physical basis.** Cambridge, 2007.
- KHALIL, M. A. K.; RASMUSSEN, R. A.; SHEARER, M.; DALLUGE, R.; REN, L.; DUAN, C. L. Factors affecting methane emissions from rice fields. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D19, p. 25219-25231, 1998. <http://dx.doi.org/10.1029/98JD01115>
- LANGMUIR, D., **Aqueous environmental geochemistry.** Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1997.
- MARANI, L.; ALVALÁ, P. C. Methane emissions from lakes and floodplains in Pantanal, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 8, p. 1627-1633, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.046>
- MELACK, J. M.; HESS, L. L.; GASTIL, M.; FORSBERG, B. R.; HAMILTON, S. K.; LIMA, I. B. T.; NOVO, E. M. L. M. Regionalization of methane emissions in the Amazon basin with microwave remote sensing. **Global Change Biology**, v. 10, p. 530-544, 2004. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00763.x>
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC - NOAA. **The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI).** Broadway, 2014.
Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>. Acesso em: ago. 2015.
- PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química da água.** Colombo: EMBRAPA Florestas, 2011. (Documentos, 232). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2015.
- PEREIRA, G.; CHÁVEZ, E.S.; SILVA, M.E.S. O estudo das unidades de paisagem do bioma Pantanal. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.7, n. 1, p. 89-103, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.826>

- RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D21, p. 26539-26551, 1996. <http://dx.doi.org/10.1029/96JD01936>
- SASS, R. L.; FISHER, F. M.; WANG, Y. B.; TURNER, F. T.; JUND, M. F. Methane emissions from rice fields: the effect of floodwater management. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 6, n. 3, p. 249-262, 1992. <http://dx.doi.org/10.1029/92GB01674>
- THAUER, R. K.; KASTER, A. K.; SEEDORF, H.; BUCKEL, W.; HEDDERICH, R. Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation. **Microbiology**, v. 6, p. 579-591, 2008. <http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro1931>
- WANG, Z. P.; DELAUNE, R. D.; MASSCHELEYN, P. H. et al. Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 2, p. 382-385, 1993. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700020016x>
- WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego: Academic Press, 2006. 627p.
- WUEBBLES, D. J.; HAYHOE, K. Atmospheric methane and global change. **Earth-Science Reviews**, v. 57, p. 177-210, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00062-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00062-9)
- YANG, S. S.; CHANG, H. L. Effect of environmental conditions on methane production and emission from paddy soil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 69, n. 1, p. 69-80, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(98\)00098-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(98)00098-X)