



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.11.19.34-TDI

VARIAÇÃO SAZONAL E ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS AMBIENTAIS NA EMISSÃO DE METANO NO PANTANAL

Marcelo Gomes da Silva

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial,
orientada pelos Drs. Plínio Carlos Alvalá, e Luciano Marani, aprovada em 31 de
Maio de 2010.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/37FH53S>>

INPE
São José dos Campos
2010

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.11.19.34-TDI

VARIAÇÃO SAZONAL E ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS AMBIENTAIS NA EMISSÃO DE METANO NO PANTANAL

Marcelo Gomes da Silva

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial,
orientada pelos Drs. Plínio Carlos Alvalá, e Luciano Marani, aprovada em 31 de
Maio de 2010.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/37FH53S>>

INPE
São José dos Campos
2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Marcelo Gomes da.
Si38v Variação sazonal e análise da influência de parâmetros ambientais na emissão de metano no Pantanal / Marcelo Gomes da Silva. – São José dos Campos : INPE, 2010.
 xxiv+82 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.11.19.34-TDI)

Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

Orientadores : Drs. Plínio Carlos Alvalá, e Luciano Marani.

1. Metano. 2. Pantanal. 3. Parâmetros Ambientais. 4. Variação Sazonal. 5. Área Alagada. I. Título.

CDU 547.211:550.3

Copyright © 2010 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2010 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

**Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Geofísica Espacial**

Dr. Polinaya Muralikrisna



Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Plínio Carlos Alvalá



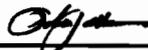
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Luciano Marani



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Delano Gobbi



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Hamilton Germano Pavão



Convidado(a) / UFMS / Campo Grande - MS

Aluno (a): Marcelo Gomes da Silva

São José dos Campos, 31 de maio de 2010

“Cortesia, Integridade, Perseverança, Auto-Controle, Espírito Indomável”

(Princípios do Tae kwon do)

A meus pais
Maria Lúcia Gomes da Silva
Manuel Arcanjo da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, Maria Lúcia Gomes da Silva e Manuel Arcanjo da Silva, minha irmã, Mônica Gomes da Silva e meu avô Francisco Arthur Gomes (Vô Chico). Palavras não expressam sua importância para mim.

Aos meus estimados Orientadores Plínio Carlos Alvalá e Luciano Marani, por toda dedicação, pela orientação, conselhos e ensinamentos sem os quais não seria possível a realização deste trabalho; e pela paciência.

Aos companheiros de laboratório Willian Ferreira, Marcelo Araújo, Domingos Sardela, Joelder Lopes e Angélica pela ajuda inestimável nas campanhas e nas análises.

Aos amigos Ericka Voss Chagas Mariano, Glauber Mariano, Luciano Marani, Mári Firpo, Wendell Farias, Virginia Piccinini, Paulo Jauer, Cláudia Vogel e Tatiane Felinto, pelo companheirismo e pela amizade.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de Mestrado concedida.

À Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS, pelo apoio a este trabalho através da utilização da Base de Estudos do Pantanal.

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados do estudo de parâmetros ambientais na emissão de metano na região Sul-Matogrossense do Pantanal. Foram realizadas duas campanhas, sendo a primeira em setembro de 2009 e a segunda em março de 2010, correspondendo ao período de seca e cheia, respectivamente. O fluxo de metano foi determinado pela técnica de cúpula estática. Os parâmetros ambientais analisados foram a profundidade da coluna d'água, temperatura do ar e da água, pH, potencial de oxirredução, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e total de sólidos dissolvidos. Também foi medido o metano dissolvido em três profundidades (subsuperficial, meio e fundo). A média geral dos 151 fluxos válidos foi de $163,8 \pm 343,2 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com uma mediana de $39,0 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Foram obtidos 67 fluxos difusivos (média de $15,9 \pm 27,9$ e mediana de $5,7 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$) e 84 fluxos ebulitivos (média de $281,9 \pm 424,8 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e mediana de $119,2 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$). A existência de influência dos parâmetros ambientais na emissão de metano foi investigada através da análise de componentes principais. O fluxo difusivo mostrou correlação significativa para pH, oxigênio dissolvido e potencial de oxirredução. Para fluxos ebulitivos, as variáveis que apresentaram alguma diferença estatística foram a temperatura da água e do ar. O fluxo de metano estimado pelo modelo de filme estagnado utilizando dados de metano dissolvido subsuperficial foi comparado com o fluxo difusivo, apresentando baixa correlação e mostrando que modelos de emissão devem incorporar características do ambiente como as perturbações causadas por ventos e correnteza.

SEASONAL VARIATION AND ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS ON THE EMISSION OF METHANE IN PANTANAL

ABSTRACT

This work presents the results of the study of environmental parameters on methane emission in southern Mato Grosso, Pantanal. There were two campaigns, the first being in September 2009 and the second in March 2010, corresponding to the period of drought and flood, respectively. The flow of methane was determined by the technique of static chamber. The environmental parameters examined were the depth of the water column, air and water temperature, pH, redox potential, electrical conductivity, dissolved oxygen and total dissolved solids. The dissolved methane at three depths (subsurface, middle and bottom) was also measured. The overall average of 151 valid flows was $163.8 \pm 343.2 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, with a median of $39.0 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. 67 diffusive fluxes (mean $15.9 \pm 27.9 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ and a median of $5.7 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$) and 84 bubble fluxes (mean $281.9 \pm 424.8 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ and a median of $119.2 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$) were obtained. The existence of influence of environmental parameters on methane emission was investigated by principal component analysis. The diffusive flux showed a significant correlation for pH, dissolved oxygen and redox potential. For bubble fluxes, the variables that showed some statistical differences were the temperature of the water and air. The flow of methane estimated by the stagnant film model using data from subsurface dissolved methane was compared with the diffusive flux, with low correlation and showing that emission models should incorporate features of the environment such as the disturbance caused by winds and currents.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 3.1 – Topo: Média global da razão de mistura do metano atmosférico (linha azul). A linha vermelha representa a tendência de longo prazo. Base: Taxa de crescimento global do metano.....	8
Figura 3.2 - Mapa global ilustrando a distribuição das áreas alagadas.....	16
Figura 4.1 - Mapa mostrando a bacia hidrográfica do rio Paraguai e sua localização no território brasileiro. A área em destaque mostra o local das coletas.....	21
Figura 4.2 – Conjunto para a coleta de ar com a cúpula e seringa.	23
Figura 4.3 – Componentes básicos de um cromatógrafo a gás.	25
Figura 4.4 – Variação temporal da concentração medida no interior da cúpula para fluxos difusivos (esquerda) e fluxos ebulitivos (direita).	27
Figura 5.1 – Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da profundidade.	39
Figura 5.2 – Variação da temperatura da água próxima à superfície em função da temperatura do ar.....	40
Figura 5.3.A - Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da temperatura da água subsuperficial.....	41
Figura 5.3.B - Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da temperatura da água no fundo.	42
Figura 5.4 - Parte superior: Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do pH subsuperficial. Parte Inferior: Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do pH no fundo.....	43
Figura 5.5 – Parte superior: Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do oxigênio dissolvido subsuperficial. Parte Inferior: Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do oxigênio dissolvido no fundo.	45
Figura 5.6.A – Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do ORP subsuperficial.....	46

Figura 5.6.B – Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do ORP no fundo.....	47
Figura 5.7 - Parte superior: Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da condutividade elétrica subsuperficial. Parte Inferior: Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da condutividade elétrica no fundo.....	48
Figura 5.8 - Parte superior: Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do total de sólidos dissolvidos subsuperficial. Parte Inferior: Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do total de sólidos dissolvidos no fundo.	49
Figura 5.9 – Média do metano dissolvido (esquerda) e média do oxigênio dissolvido (direita) ao longo da coluna d’água.	55
Figura 5.10 – Fluxo de metano estimado através do modelo de filme estagnado em função do fluxo difusivo.....	55

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 - Fontes e Sumidouros de metano	14
Tabela 3.2 – Fluxos de metano em ecossistemas naturais.....	15
Tabela 4.1 – Faixa de medida, resolução e precisão dos parâmetros medidos	32
Tabela 5.1 – Fluxos obtidos e valores de média, desvio padrão, mediana e variação para difusivos e ebulitivos.....	37
Tabela 5.2 – Média, desvio padrão e faixa de variação dos parâmetros ambientais para época de seca e cheia.....	38
Tabela 5.3 – Médias de fluxo geral, difusivo e ebulitivo obtidos em diversos trabalhos.	57
Tabela A.1 - Correlação entre variáveis ambientais e fluxo difusivo.	72
Tabela A.2 – Fator Loading para fluxo difusivo	72
Tabela A.3 – Análise de Componentes Principais para fluxo difusivo.....	73
Tabela A.4 - Correlação entre variáveis ambientais e fluxo ebulitivo.	73
Tabela A.5 – Fator Loading para fluxo ebulitivo	74
Tabela A.6 – Análise de Componentes Principais para fluxo ebulitivo.....	74
Tabela A.7 - Separação por estação: Correlação entre variáveis ambientais e fluxo difusivo, época da seca (setembro, 2009).	75
Tabela A.8 - Separação por estação: Fator Loading para fluxo difusivo, época da seca (setembro, 2009).	75
Figura A.9 - Separação por estação: Análise de Componentes Principais para fluxo difusivo, época da seca (setembro, 2009).	76
Tabela A.10 - Separação por estação: Correlação entre variáveis ambientais e fluxo ebulitivo, época da seca (setembro, 2009).	76
Tabela A.11 - Separação por estação: Fator Loading para fluxo ebulitivo, época da seca (setembro, 2009).	77

Tabela A.12 - Separação por estação: Análise de Componentes Principais para fluxo ebulitivo, época da seca (setembro, 2009).	77
Tabela A.13 - Separação por estação: Correlação entre variáveis ambientais e fluxo difusivo, época da cheia (março, 2010).	78
Tabela A.14 - Separação por estação: Fator Loading para fluxo difusivo, época da cheia (março, 2010).	78
Tabela A.15 - Separação por estação: Análise de Componentes Principais para fluxo difusivo, época da cheia (março, 2010).	79
Tabela A.16 - Separação por estação: Correlação entre variáveis ambientais e fluxo ebulitivo, época da cheia (março, 2010).	79
Tabela A.17 - Separação por estação: Fator Loading para fluxo ebulitivo, época da cheia (março, 2010).	80
Tabela A.18 - Separação por estação: Análise de Componentes Principais para fluxo ebulitivo, época da cheia (março, 2010).	80
Tabela A.19 – Teste de correlação dos parâmetros ambientais em função do tipo de transporte (difusivo e ebulitivo) e da estação (seca e cheia). Os campos marcados em verde representam a existência de correlação do parâmetro ambiental no fluxo.	81
Tabela A.20 – Análise de Componentes Principais dos parâmetros ambientais em função do tipo de transporte (difusivo e ebulitivo) e da estação (seca e cheia).	82

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Área
ACP	Análise de Componentes Principais
Ar	Argônio
B.E.P.	Base de Estudos do Pantanal
CFCs	Clorofluorcarbonos
CH ₂ O	Formaldeído
CH ₃	Radical metil
CH ₄	Metano
Cl	Cloro
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
δ_c	Camada limite
D	Difusividade
d	Dia
DIC	Detector de Ionização de Chama
ΔG°	Varição da entalpia
$\Delta C_{\text{água}}$	Diferença da concentração de metano entre a água e a atmosfera
Δn_{CH_4}	Varição no número de moles de metano
$\Delta \chi_{\text{CH}_4}$	Varição da razão de mistura do metano
F	Flúor
Fe ²⁺ , Fe ³⁺	Íons de ferro
Φ	Fluxo
GWP	Global Warming Potential (Potencial de aquecimento global)
H ₂ O	Vapor d'água
HCl	Ácido clorídrico
Δt	Intervalo de tempo

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kJ	Quilojoule
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
m ²	Metro quadrado
ml	Mililitro
mV	Milivolt
µm	Micrômetro
Mn ²⁺ , Mn ⁴⁺	Íons de Manganês
m _{CH₄}	Massa do metano
M _{CH₄}	Massa molar do metano
N ₂	Nitrogênio
N ₂ O	Óxido nitroso
NO ₃ ⁻	Nitrato
n _{CH₄}	Número de moles do metano
n _t	Número total de moles da mistura
O ₂	Oxigênio
O ₃	Ozônio
O(¹ D)	Oxigênio atômico
OD	Oxigênio dissolvido
OH	Radical hidroxila
ORP	Potencial de oxirredução
ppbv	Partes por bilhão por volume
pptv	Partes por trilhão por volume
p	Pressão total
p _i	Pressão parcial
R	Constante dos gases
r ²	Coefficiente de correlação

S/m	Siemens por metro
SO_4^{2-}	Sulfato
S^{2-}	Íon de enxofre
T	Temperatura
Tg	Teragramas
TSD	Total de sólidos dissolvidos
UFMS	Universidade Federal do Matogrosso do Sul
PVC	Cloreto de polivinila

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Metano na atmosfera.....	6
3.2 Sumidouros	9
3.3 Fontes.....	10
3.3.1 Fontes não-biológicas	10
3.3.2 Fontes biológicas	10
3.3.2.1 Fermentação entérica	11
3.3.2.2 Aterros sanitários.....	11
3.3.2.3 Plantas vivas e em decomposição.....	12
3.3.2.4 Áreas alagadas	12
4 METODOLOGIA	19
4.1 Área de estudo - Pantanal.....	19
4.2 Campanhas.....	20
4.3 Fluxo de metano	22
4.4 Metano dissolvido	23
4.5 Determinação das concentrações de metano	24
4.6 Determinação dos fluxo de metano.....	25
4.6.1 Validação dos fluxos.....	28
4.7 Determinação da concentração de metano dissolvido.....	29

4.7.1 Fluxo difusivo estimado a partir do metano difusivo.....	31
4.8 Parâmetros ambientais	31
4.9 Análise estatística	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 Introdução	35
5.2 Fluxo de metano.....	35
5.3 Parâmetros ambientais.....	36
5.3.1 Profundidade	38
5.3.2 Temperatura da água e do ar	40
5.3.3 pH.....	42
5.3.4 Oxigênio dissolvido (OD).....	44
5.3.5 Potencial de oxirredução (ORP).....	45
5.3.6 Condutividade elétrica	47
5.3.7 Total de sólidos dissolvidos (TSD).....	49
5.4 Análise estatística	50
5.4.1 Análise estatística para fluxo difusivo	50
5.4.2 Análise estatística para fluxo ebulitivo	52
5.4.3 Análise estatística para a estação de seca	52
5.4.4 Análise estatística para a estação de cheia	53
5.5 Metano dissolvido	53
5.6 Comparação com outros trabalhos no Pantanal.....	56
6 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE A - TABELAS	72

1 INTRODUÇÃO

O metano (CH_4) é o hidrocarboneto mais abundante na atmosfera terrestre. A razão de mistura atmosférica do metano duplicou desde a Revolução Industrial, estando atualmente em torno de 1800 ppbv (partes por bilhão por volume). Este aumento tem sido relacionado às atividades antrópicas, como a agropecuária e a queima de combustíveis fósseis e biomassa. O metano também pode ser produzido naturalmente pela decomposição bacteriana de material orgânico existente em meios anaeróbicos como o trato digestivo de ruminantes, cupins, aterros sanitários e oceanos. Porém, a maior fonte de metano natural para a atmosfera são as áreas alagadas.

A importância do metano na atmosfera está relacionada com o efeito estufa, contribuindo com cerca de 20% do efeito observado, além de ser um dos principais sumidouros do radical hidroxila (OH), influenciando assim a capacidade oxidante da atmosfera. O metano transportado para a estratosfera tem papel importante na remoção do cloro (Cl), retirando-o do ciclo de destruição do ozônio estratosférico.

As áreas alagadas tropicais na emissão de metano para a atmosfera apresentam um papel relevante, sendo ressaltado em diversos trabalhos, porém as estimativas de emissão ainda dependem fortemente dos dados existentes da planície amazônica. Outra área alagada tropical de enorme importância na emissão do metano é o Pantanal, ocupando uma área total de 138.183 km^2 , a qual pode ser considerada a maior área alagada da América do Sul. A região apresenta um ciclo sazonal de alagamento, com máximo após dezembro e um atraso em relação ao período de chuvas, o qual tem início em outubro devido ao lento escoamento da água através da região. O impacto da variação interanual dos períodos de seca e cheia no Pantanal ainda é pouco estudado, sendo necessário um maior conhecimento para se estimar o total de metano emitido nessa área, bem como determinar a importância relativa dos fatores que influenciam esse processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudos anteriores realizados no Pantanal avaliaram o potencial de emissão de metano da região, mostrando a existência de grande variabilidade, tanto entre diferentes habitats quanto ao longo do período de estudo. Esse trabalho tem como objetivo principal avaliar a variabilidade interanual nas emissões de metano do Pantanal, além da realização de uma melhor caracterização da influência de variáveis ambientais que possam afetar a emissão de metano.

2.2 Objetivos específicos

- A realização de 2 campanhas intensivas, sendo uma realizada em setembro do ano de 2009, durante o período de seca do Pantanal e a outra no ano de 2010, entre fevereiro e março, correspondendo ao período de cheia;
- A realização de medidas em lagoas permanentes e em planícies alagáveis (durante o período de cheia);
- A obtenção de no mínimo 80 fluxos de metano por campanha;
- Implementar a determinação do metano dissolvido na água, através da técnica de *headspace*;
- Obter perfis de temperatura, oxigênio dissolvido e metano dissolvido na coluna d'água em todos os pontos de medida de fluxo;
- Medição de dados complementares, como pH, potencial de oxirredução, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, temperatura do ar e da água, pressão atmosférica e profundidade, utilizados na determinação dos fluxos e na avaliação das condições de coleta em cada ponto;
- A realização de uma análise estatística robusta de dados obtidos, através de testes estatísticos e da aplicação de Análise de Componentes Principais, determinando a relevância das variabilidades observadas e de possíveis correlações entre os fluxos de metano e as variáveis ambientais medidas.

- Comparação dos dados de fluxo e parâmetros ambientais obtidos em campanhas passadas com os dados que serão obtidos neste trabalho, avaliando a variação interanual da emissão de metano no pantanal e a correlação dos parâmetros ambientais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A atmosfera terrestre é composta na sua grande maioria por 78% de nitrogênio (N₂), 21% de oxigênio (O₂) e 1% de argônio (Ar). Em menores concentrações, cerca de 1% da atmosfera, aparecem os gases traço que apresentam grande importância no balanço radiativo da Terra (SEINFELD; PANDIS, 1998).

Os primeiros estudos visando a determinação dos constituintes da atmosfera datam do século XVIII. Porém, somente no século XIX é que se determinou a presença de N₂, O₂, vapor d'água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) e gases raros. Posteriormente, com o avanço tecnológico, foi possível identificar na atmosfera gases com baixíssimas concentrações, ocorrendo na ordem de 10⁻¹² partes por parte de ar, ou, uma parte por trilhão por volume (pptv) (SEINFELD; PANDIS, 1998). Entre os gases identificados, podemos citar, devido à sua grande importância para a química da atmosfera e o balanço radiativo da Terra, o CO₂, vapor d'água, metano, óxido nitroso (N₂O), ozônio (O₃) e clorofluorcarbonos (CFCs). Esses gases são conhecidos como gases do efeito estufa, que têm como característica principal a absorção da radiação na faixa do infravermelho, provenientes da superfície da Terra, emitindo parte dessa radiação de volta à superfície e desempenham papel importante no aquecimento global e mudanças climáticas. (GHUDE *et al.*, 2009; WU, 2009; KHALIL; RASMUSSEN, 2004).

Através da análise de bolhas de ar presas em testemunhos de gelo, foi possível determinar o comportamento dos gases traço na atmosfera ao longo dos últimos mil anos. Estes estudos mostram um crescimento na concentração dos principais gases do efeito estufa a partir do século XVIII, intensificado a partir da Revolução Industrial devido à fatores antropogênicos como o aumento das emissões de compostos químicos para a atmosfera por atividades industriais, desmatamento, adubação química na agricultura, queima de biomassa e combustíveis fósseis (FEST *et al.*, 2009; WU, 2009; GHUDE *et al.*,

2009; STADMARK *et al.*, 2009; SEINFELD; PANDIS, 1998; RAMANATHAN *et al.*, 1985).

3.1 Metano na atmosfera

O metano é o hidrocarboneto mais abundante na atmosfera terrestre, com uma média global de razão de mistura de aproximadamente 1.800 ppbv (XIE *et al.*, 2009; KEPPLER *et al.*, 2006; SEINFELD; PANDIS, 1998). Ele apresenta uma forte banda de absorção em torno de 7,66 μm (infravermelho) que é a região espectral onde o gás carbônico e a água absorvem fracamente (DONNER; RAMANATHAN, 1980; DICKINSON; CICERONE, 1986). Depois do dióxido de carbono, o metano é o segundo gás mais importante no aumento da forçante radiativa, sendo responsável por 20% do aquecimento global. O potencial de aquecimento global do metano (GWP, *Global Warming Potential*) para um horizonte de 100 anos, é 25 vezes maior do que a do dióxido de carbono (DALAL; ALLEN, 2008).

O principal mecanismo de remoção do metano na atmosfera é a reação com o radical hidroxila (OH) formando formaldeído (CH_2O) e monóxido de carbono (CO), além de ozônio (O_3) quando a concentração atmosférica do óxido nitroso (N_2O) é superior a 10 pptv (XIE *et al.*, 2009; WUEBBLES; HAYHOE, 2002). Estas reações apresentam papel importante na determinação da capacidade oxidante da atmosfera (THOMPSON, 1992). Assim, além do efeito direto, a oxidação do metano tem efeito indireto no balanço radiativo uma vez que produz CO_2 (DUFOUR *et al.*, 2009; RAVISHANKARA, 1988) e O_3 , que também são gases do efeito estufa. Na estratosfera, o metano afeta a concentração do vapor d'água e do ozônio, além de reagir com átomos de cloro (Cl), convertendo-os para a forma menos reativa HCl (ácido clorídrico), interrompendo o ciclo catalítico de destruição do ozônio pelo cloro (WUEBBLES; HAYHOE, 2002; CICERONE; ORELAND; 1988).

Estudos mostram que desde a era pré-industrial (1750) até os dias atuais a razão de mistura do metano duplicou na atmosfera (KIRSCHBAUM *et al.*, 2006;

SIMPSON *et al.*, 2006). Este aumento pode ser relacionado à atividade antrópica, principalmente ao uso de combustíveis fósseis, que aumentam a taxa de emissão do metano, e ao uso extensivo da agricultura, que reduz o consumo do metano pelo solo (DALAL; ALLEN, 2008; BUTENHOFF; KHALIL, 2007; SIMPSON *et al.*, 2006). Durante esse período, a concentração de CH₄ na atmosfera aumentou de 715 ppbv para cerca de 1800 ppbv.

A Figura 3.1 mostra a variação da concentração de metano na atmosfera, assim como a taxa de crescimento global ao longo dos últimos anos. Embora o conteúdo global de metano continue a aumentar, sua taxa média de crescimento diminuiu de 20 ppbv/ano em 1980 para aproximadamente 3 ppbv/ano nos dias atuais (BUTENHOFF; KHALIL, 2007). Na figura 3.1 é possível visualizar que a curva da média global de metano sofreu uma atenuação nos últimos anos, havendo anos em que a taxa de crescimento global apresentou valores negativos.

Identificar a origem da variabilidade observada nas concentrações é uma tarefa complexa tendo em vista que o metano liberado para atmosfera é proveniente de diversas fontes, tanto biológicas, onde cerca de 70% das emissões são originadas por bactérias que liberam metano como subproduto de seu metabolismo (BUTENHOFF; KHALIL, 2007), quanto não-biológicas, que somadas, são responsáveis pela emissão anual de cerca de 410 a 660 Tg (410-660 x 10¹² gramas) de metano para a atmosfera. Este valor é uma estimativa e apresenta uma grande variação devido ao grande número de fontes emissoras.

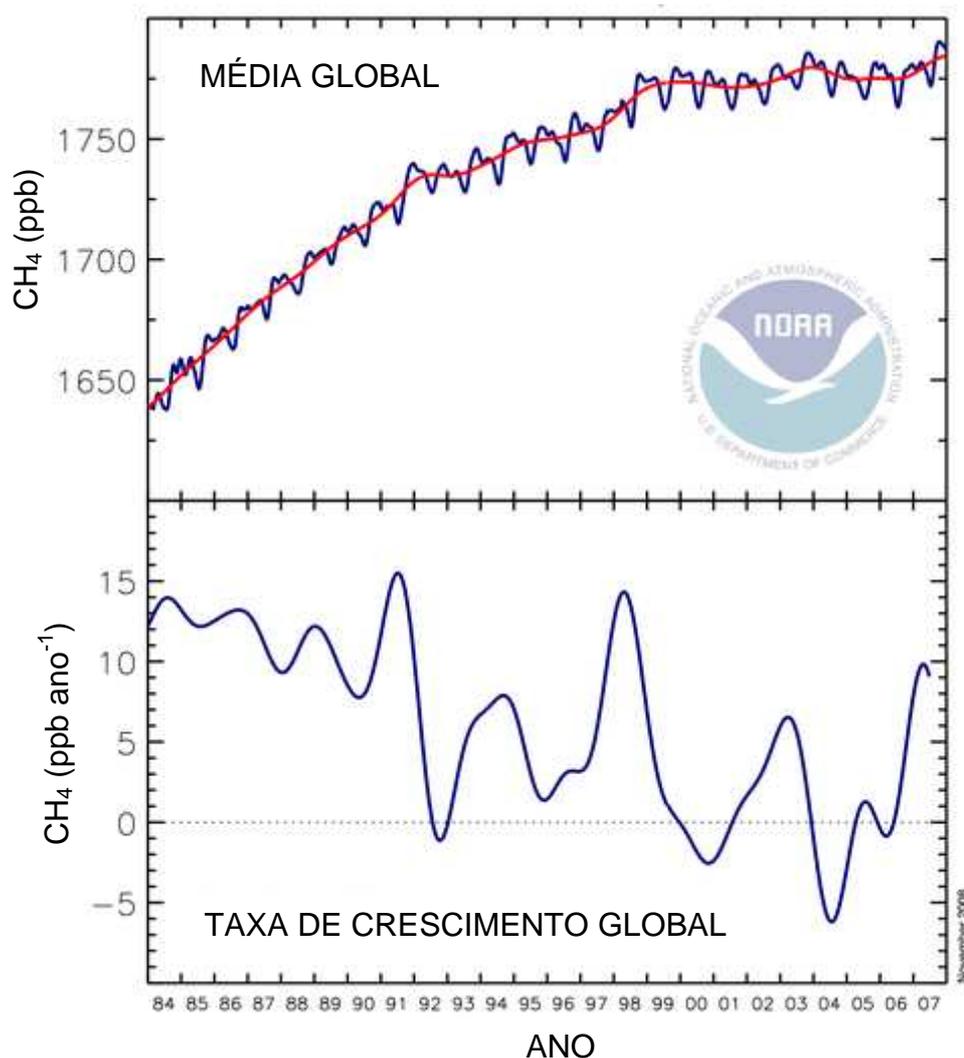


Figura 3.1 – Topo: Média global da razão de mistura do metano atmosférico (linha azul). A linha vermelha representa a tendência de longo prazo. Base: Taxa de crescimento global do metano.
 FONTE: Adaptado de NOAA, (2009)

Em contraste, a remoção do metano atmosférico acontece por apenas três mecanismos principais: reação com o radical OH, transporte para a estratosfera e absorção por solos aerados. A taxa de estimativa anual da remoção do metano atmosférico encontra-se entre 430 e 600 Tg. Essa variação acontece principalmente pela variação na concentração do radical OH, que é consumido em diversas outras reações químicas na atmosfera (WUEBBLES; HAYHOE, 2002).

3.2 Sumidouros

A principal forma de remoção de metano da atmosfera é a reação com o radical hidroxila (OH), responsável pela retirada de 445 TgCH₄ por ano, que representa em torno de 85% do total removido. Desta forma, a concentração de OH é um fator importante para a determinação da concentração do metano na atmosfera (EHHALT; SCHMIDT, 1978), enquanto que o aumento observado da concentração de metano nas últimas décadas pode ter contribuído para a queda da concentração do radical hidroxila, implicando numa alteração a capacidade de remoção de outras espécies químicas na atmosfera (CRUTZEN; ZIMMERMANN, 1991). A oxidação do metano pelo OH (Equação 3.1) produz o radical metil (CH₃) que é um dos precursores na formação de formaldeído (CH₂O):



A seqüência de reações envolvendo o formaldeído resulta, em uma atmosfera rica em óxidos de nitrogênio, na produção de ozônio na troposfera. As equações completas são apresentadas por Seinfeld e Pandis (1998).

Outra forma de remoção do metano é através da absorção pelos solos. Estima-se que a oxidação de metano por microorganismos existentes no solo seja de 30 TgCH₄ ano⁻¹ (IPCC, 1995). O processo de oxidação de metano depende de fatores relacionados às propriedades físicas do solo como a textura, densidade, umidade, temperatura, pH e quantidade de matéria orgânica (FEST *et al.*, 2009; MACDONALD *et al.*, 1998). Bactérias metanotróficas existentes no solo obtêm energia e carbono através da oxidação do CH₄ e durante a decomposição da matéria orgânica em meios aeróbicos (DALAL; ALLEN, 2009) através da reação química:



O metano existente na troposfera pode ser transportado para a estratosfera através de processos de difusão turbulenta de circulação global. Uma vez na estratosfera torna-se, através da oxidação, a maior fonte de vapor d'água da região. A remoção do metano ocorre novamente por reações com o radical hidroxila (OH), seguido pelas reações com o cloro (Cl), com o oxigênio excitado O(¹D) e, em pequenas frações, com o flúor (F). A reação do metano com o cloro tem grande importância, pois forma o ácido clorídrico (HCl) e remove o cloro do ciclo catalítico de destruição do ozônio (CICERONE; OREMLAND, 1988).

3.3 Fontes

O metano liberado para a atmosfera é produzido por diversas fontes, tanto biológicas como não-biológicas. As principais fontes são citadas a seguir:

3.3.1 Fontes não-biológicas

Grande parte do CH₄ liberado na atmosfera desde a Revolução Industrial está associado à combustíveis fósseis como o gás natural, carvão e derivados do petróleo. Estima-se que 65-70% do carbono “moderno” existente na atmosfera seja devido a essa fonte (SIMPSON *et al.*, 2006).

A queima de matéria orgânica e de biomassa também é responsável pela liberação de grandes quantidades de metano para a atmosfera. A queima lenta do material (na forma de brasas), e a combustão incompleta, têm como produtos do processo a produção de metano e outros hidrocarbonetos. Já a combustão completa do material produz predominantemente dióxido de carbono (LEVINE *et al.*, 2000).

3.3.2 Fontes biológicas

Grande parte do metano liberado para a atmosfera é produzido por ação de bactérias chamadas de metanogênicas (*Archaea*) ou metanobactérias, que decompõem matéria orgânica para a obtenção de carbono e energia

(KEPPLER *et al.*, 2006; WUEBBLES; HAYHOE, 2002). O processo ocorre em meios livres de oxigênio (anaeróbicos) tais como plantações de arroz, pântanos e aterros sanitários, e também no trato digestivo de ruminantes como bovinos e ovelhas, de cupins e em humanos (XIE *et al.*, 2009; SIMPSON *et al.*, 2006; WUEBBLES; HAYHOE, 2002). A degradação da matéria orgânica pelas bactérias metanogênicas envolve uma cadeia complexa de processos, sendo que apenas um pequeno número de compostos consegue ser metabolizado, entre eles formato, acetato, metanol e dióxido de carbono, tendo em comum a produção de metano ao fim da reação. Fatores externos como temperatura, pH e concentração de oxigênio existente no meio podem influenciar o processo, resultando numa maior ou menor síntese de metano (CICERONE; ORELAND, 1988).

3.3.2.1 Fermentação entérica

Segundo Ngwabie *et al.* (2009), a fermentação entérica e o manejo dos excrementos de bovinos criados em confinamento contribui com cerca de 35 - 40% do total das emissões de metano antropogênico e 80% do metano liberado pela agricultura. Este estudo ainda mostra que, estas mesmas condições, são responsáveis por 65% do total de N₂O liberado para a atmosfera. São valores bastante relevantes para o balanço radiativo, considerando que o CH₄ e o N₂O apresentam GWP, respectivamente, 23 e 296 vezes maior que o CO₂ (STADMARK *et al.*, 2009). Apesar da diminuição regional do número de animais criados em confinamento, como ocorrido na Suécia durante os anos de 2001 até 2006, estima-se que o crescimento populacional e, conseqüentemente, o aumento do consumo de leite e carne em países populosos como a China e a Índia, provocarão um aumento das emissões originadas por animais em confinamento (NGWABIE, 2009).

3.3.2.2 Aterros sanitários

Os aterros sanitários são responsáveis por cerca de 10-20% das emissões de metano provenientes de atividades antropogênicas (IPCC, 2007). O biogás

gerado no interior do aterro, composto por 50-60% de metano, pode atravessar a barreira de cobertura e escapar para a atmosfera. Parte do metano produzido no interior do aterro é convertido em CO₂ e H₂O devido à ação de bactérias metanotróficas, que utilizam o CH₄ como fonte de carbono e energia. Essa reação ocorre com maior intensidade próxima à superfície devido à maior concentração do oxigênio (TEIXEIRA, 2009).

3.3.2.3 Plantas vivas e em decomposição

O metano também pode ser emitido por plantas vivas ou em decomposição, em condições aeróbicas (BUTENHOFF; KHALIL, 2007; KEPPLER *et al.*, 2006; KIRSCHBAUM *et al.*, 2006). Estima-se que a contribuição do metano produzido em condições aeróbicas por plantas seja de 62-236 TgCH₄ano⁻¹, o que corresponde a um quarto das emissões globais de CH₄ (KIRSCHBAUM *et al.*, 2006). Segundo Mukhin e Voronin (2009), a ação da decomposição de fragmentos de madeira por ação fúngica emite CO₂ (componente aeróbica) e CH₄ (componente anaeróbica). Fragmentos de madeira são considerados como o segundo maior reservatório de carbono terrestre, sendo superado apenas pela fitomassa viva das florestas.

3.3.2.4 Áreas alagadas

Áreas alagadas e lagos são importantes fontes de CH₄ atmosférico, contribuindo com cerca de 20-30% das emissões naturais biogênicas (STADMARK *et al.*, 2009; MARANI; ALVALÁ, 2007; LIMA, 2005), constituindo a maior fonte individual de metano.

Em ambientes aquáticos, o metano é produzido no sedimento existente no fundo do corpo d'água pela decomposição de matéria orgânica realizada por bactérias metanogênicas. O processo acontece em condições anaeróbicas, desta forma, a concentração de oxigênio existente na coluna d'água é um fator que influencia a produção de metano. O transporte do gás até a superfície da água ocorre principalmente por processos ebulitivos (bolhas) ou difusivos.

Outros processos, como transporte através da vegetação e liberação através da evaporação também ocorrem, mas a difusão e ebulição são responsáveis por mais de 90% do metano liberado por corpos d'água (BASTVIKEN *et al.*, 2004; BARTTLET *et al.*, 1988; DEVOL *et al.*, 1988).

O fluxo difusivo depende do gradiente da concentração existente entre a superfície da água e a atmosfera. O fluxo ebulitivo está relacionado com a taxa de produção de metano no sedimento e com a pressão hidrostática que deve ser superada para que as bolhas sejam liberadas. Fatores como troca de calor e ventos podem induzir turbulências na superfície da água, fazendo com que as bolhas sejam liberadas do sedimento (ABRIL *et al.*, 2006; RAMOS *et al.*, 2006; DEVOL *et al.*, 1988; CRILL *et al.*, 1988). Grande parte do metano dissolvido na água não chega a ser liberado para a atmosfera devido à ação de bactérias oxidantes de metano, também chamadas de metanotróficas, que podem estar presentes no sedimento e na coluna de água quando o oxigênio está presente. Fluxos ebulitivos resultam em bolhas de metano liberadas diretamente à atmosfera, sofrendo pouca ação das bactérias metanotróficas (RAMOS, *et al.*, 2009; RAMOS, *et al.*, 2006). Cerca de 40-60% do metano emitido em águas abertas ocorre por fluxo ebulitivo (MARANI; ALVALÁ, 2007, BASTVIKEN *et al.* 2004, KELLER; STALLARD, 1994). Este processo é altamente variável, enquanto que fluxos difusivos apresentam uma emissão mais constante ao longo do tempo (MARANI; ALVALÁ, 2007; RAMOS, 2006).

A tabela 3.1 apresenta as principais estimativas das fontes e sumidouros relacionados com o metano atmosférico. É importante ressaltar que ainda há grande incerteza nas estimativas de emissão e remoção do metano atmosférico, apresentando uma faixa que varia de 410 a 660 TgCH₄/ano (emissões) e de 430 a 600 TgCH₄/ano (remoção). As áreas alagadas apresentam grande importância nas emissões, com estimativas variando de 92 a 232 TgCH₄/ano, significando 20 a 30% de todo metano liberado para a atmosfera.

Tabela 3.1 - Fontes e Sumidouros de metano

FONTE	EMIÇÃO (TgCH₄/ano)	FAIXA DE ESTIMATIVA (TgCH₄/ano)
Áreas alagadas	100	92-232
Cupins	20	2-22
Oceanos	4	0,2-2,0
Outros	21	12,4-38,2
Total Natural	145	
Ruminantes	81	65-100
Cultivo de arroz	60	25-90
Total Agrícola	141	
Gás natural	30	25-50
Mineração de carvão	46	15-64
Queima de carvão	15	1-30
Indústria petrolífera	15	5-30
Queima de biomassa	50	27-80
Aterros sanitários	61	40-100
Total antropogênico não-agrícola	217	
TOTAL	503	410-660

SUMIDOURO	ABSORÇÃO (TgCH₄/ano)	FAIXA DE ESTIMATIVA (TgCH₄/ano)
OH troposférico	445	360-530
Transporte	40	32-48
Absorção por solos	30	15-45
TOTAL	515	430-600

Fonte: Adaptada de Wuebbles e Hayhoe (2002)

A tabela 3.2 apresenta os fluxos de metano para diversos ecossistemas naturais, ressaltando a importância de áreas alagadas na emissão total desse gás para a atmosfera. Os valores negativos representam absorção de metano, enquanto que os positivos estão relacionados com a emissão.

Tabela 3.2 – Fluxos de metano em ecossistemas naturais

ECOSSISTEMA	EMIÇÃO METANO $\times 10^{-2}$ (kg km⁻²ano⁻¹)
Florestas tropicais	-3,86 ± 0,60
Florestas temperadas	-4,79 ± 0,61
Florestas boreais	-1,94 ± 3,93
Savanas tropicais	-0,80 ± 0,51
Pastagens temperadas	-3,20 ± 0,42
Desertos e regiões áridas	-2,06 ± 0,35
Tundra	10,11 ± 3,51
Áreas alagadas	168,85 ± 38,16

Fonte: Adaptada de Dalal e Allen (2008)

A figura 3.2 apresenta a distribuição das áreas alagadas no globo, onde pode se perceber que a maior parte situa-se em regiões de clima temperado no hemisfério norte e nas regiões tropicais, entre 20°N e 30°S. Apesar de corresponder a apenas 35% do total, as áreas alagadas naturais tropicais, existentes predominantemente no hemisfério sul, apresentam grande

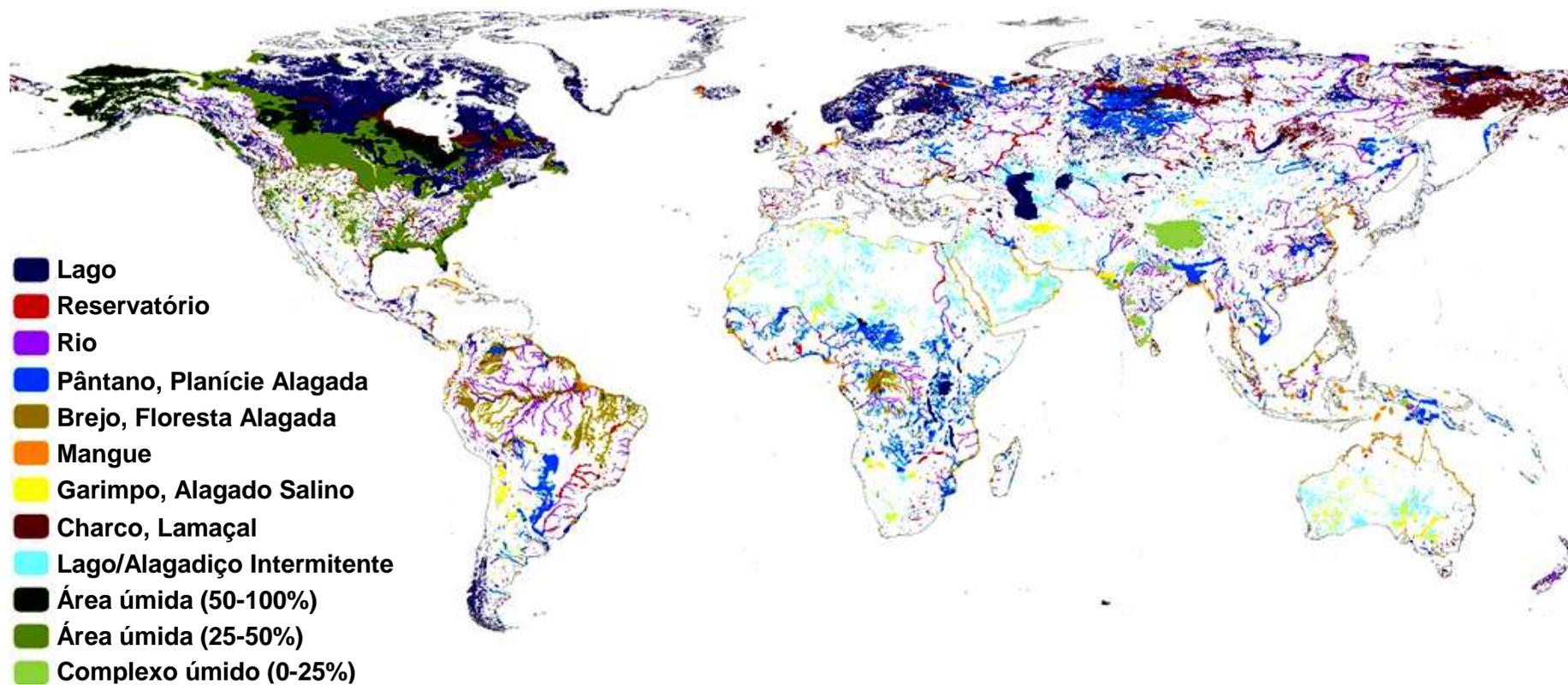


Figura 3.2 - Mapa global ilustrando a distribuição das áreas alagadas.
 Fonte: Adaptada de Lehner e Döll, (2004)

importância como fontes de metano quando comparadas com as áreas temperadas do hemisfério norte, sendo responsáveis por 42 TgCH₄ ano⁻¹ (BARTLETT; HARRIS, 1993). Esse valor de emissão corresponde a aproximadamente 36,5% do total emitido por essa fonte. As duas regiões tropicais mais conhecidas são a Amazônia e o Pantanal. Grande parte dos estudos de metano em áreas alagadas foram realizados na Amazônia (BARTLETT *et al.*, 1990, CRILL *et al.*, 1988; DEVOL *et al.*, 1988), havendo poucos trabalhos nessa área feitos no Pantanal.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo - Pantanal

O Pantanal é uma das maiores áreas alagadas tropicais do mundo. Sua bacia apresenta baixa declividade (com altitude variando de 80 a 120 m acima do nível do mar) e vegetação característica de cerrado tropical. Ocupa uma área de 138.183 km² na bacia do rio Paraguai, sendo que grande parte situa-se no centro-oeste do Brasil, com áreas menores na Bolívia e Paraguai (HAMILTON *et al.*, 2002). O Pantanal apresenta dois regimes sazonais distintos, com épocas secas (de abril a setembro) caracterizadas por chuvas raras e temperaturas amenas, enquanto a estação chuvosa ocorre de outubro a março.

As cheias no Pantanal ocorrem de dezembro a junho, dependendo da localização da precipitação e são responsáveis pelo espalhamento dos sedimentos pela região, contribuindo para a fertilidade do solo (HAMILTON *et al.*, 1995; RAO *et al.*, 1996). O material orgânico espalhado é a principal fonte de nutrientes para bactérias metanogênicas, responsáveis pela produção do metano (HAMILTON *et al.*, 2002).

O lento escoamento provocado pela baixa declividade leva a um ciclo anual longo de alagamento, com ao menos metade da área permanecendo alagada por cerca de 170 dias (HAMILTON *et al.*, 2002). Este ciclo prolongado de alagamento e alto conteúdo de sódio são responsáveis pela baixa fertilidade de mais de 70% da bacia pantaneira (PACHECO DO AMARAL, 1986). A composição argilo-arenosa dos solos caracteriza uma baixa disponibilidade de nutrientes e compostos inorgânicos na parte mais profunda do solo, porém a camada superficial apresenta melhor fertilidade devido à deposição de matéria orgânica resultante da decomposição de restos animais e vegetais (MAGALHÃES, 1992).

O clima no Pantanal é caracterizado por invernos secos e verões úmidos. A temperatura média anual varia em torno de 25°C, com temperaturas máximas atingindo 40°C no verão. A penetração de massas de ar frio provenientes das

planícies dos pampas e do Chaco tem o efeito de diminuir rapidamente a temperatura, podendo ocorrer geadas (POR, 1995).

Estimativas atuais da emissão de metano provenientes de áreas alagadas tropicais têm grande dependência de dados da Amazônia, havendo poucos trabalhos referentes à região do Pantanal. Comparativamente, a área alagada do Pantanal tem o mesmo potencial de emissão da área alagada na bacia do rio Amazonas (ALVALÁ; MARANI, 2009). A planície alagada do rio Amazonas situa-se na sua grande maioria em território brasileiro e apresenta importante papel no ciclo de gases do efeito estufa como o dióxido de carbono e o metano (LIMA, 2005; BARTLETT *et al.*, 1990, CRILL *et al.*, 1988; DEVOL *et al.*, 1988). A respiração do carbono orgânico nos 1.770.000 km² da planície do Amazonas contribuem com 210±60 Tg de carbono anualmente liberados para a atmosfera (RICHEY *et al.*, 2002), sendo que as últimas estimativas de emissão do metano para a atmosfera são de cerca de 1,73 TgCH₄ ano⁻¹ (MELACK *et al.*, 2004). A estimativa de emissão para o Pantanal, segundo Marani (2007), é de 2,2 TgCH₄ ano⁻¹.

4.2 Campanhas

Foram realizadas duas campanhas para coleta das amostras. A primeira ocorreu em setembro de 2009, correspondendo à época de seca no Pantanal, e a segunda foi realizada em março de 2010, no período de cheia.

As coletas foram feitas na sub-região do Abobral, próximo à localidade do Passo do Lontra, localizada no Mato Grosso do Sul, entre as cidades de Miranda e Corumbá. Neste local encontra-se a Base de Estudos do Pantanal (B.E.P.) da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), a qual teve papel importante na parte de logística e acomodações durante as campanhas.

A figura 4.1 apresenta o mapa do Pantanal, e sua divisão em sub-áreas, na bacia do rio Paraguai. A área em destaque mostra a região do Abobral onde foram realizadas as coletas.

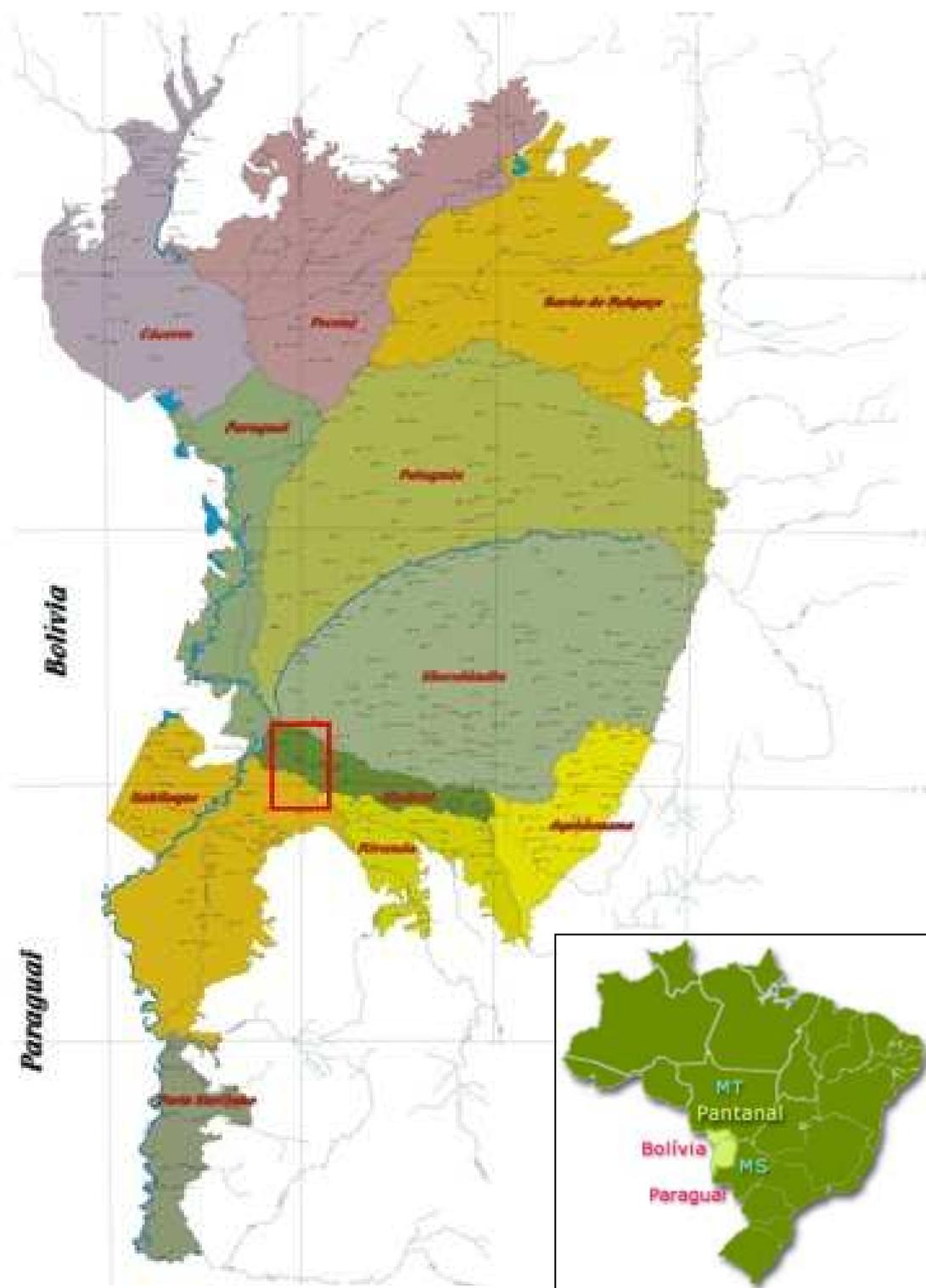


Figura 4.1 - Mapa mostrando a bacia hidrográfica do rio Paraguai e sua localização no território brasileiro. A área em destaque mostra o local das coletas.
 Fonte: Adaptada de EMBRAPA (2006).

4.3 Fluxo de metano

O fluxo de metano foi determinado através da técnica da cúpula (ou câmara) estática. Este método, largamente utilizado neste tipo de estudo, foi descrito por Khalil *et al.* (1998) e consiste na utilização de uma cúpula fechada colocada sobre a superfície da água para coleta de amostras de ar, realizadas em certos intervalos de tempo de forma a determinar o fluxo.

O transporte das cúpulas até o ponto de amostragem era feito utilizando-se um barco. Considerando que a perturbação da linha d'água poderia causar a liberação do metano dissolvido, influenciando o resultado da amostragem, após a fixação do barco, era respeitado um período de 10 minutos antes de se colocar as cúpulas. Em cada ponto de amostragem eram utilizadas 3 cúpulas, de forma a aumentar a confiabilidade na determinação dos fluxos.

Neste trabalho foram utilizadas cúpulas cilíndricas de PVC, com volume de 26 litros e flutuadores de espuma acoplados na base para sustentação na água. Uma manta térmica foi utilizada para cobrir a cúpula no intuito de reduzir a variação de temperatura no interior e evitar grandes variações do micro-ambiente criado dentro da cúpula em relação ao ambiente externo. Através de um tubo de teflon instalado à meia altura da cúpula, a amostra de ar era coletada e armazenada em uma seringa de poliuretano de 60 ml, equipada com uma torneira de três vias, com trava tipo "*luer lock*". De forma a evitar a estratificação do ar, a seringa acoplada à cúpula era bombeada várias vezes antes da amostra ser coletada. A figura 4.2 apresenta todo o conjunto utilizado na coleta das amostras de ar, formado pela cúpula de coleta com os flutuadores e a seringa.

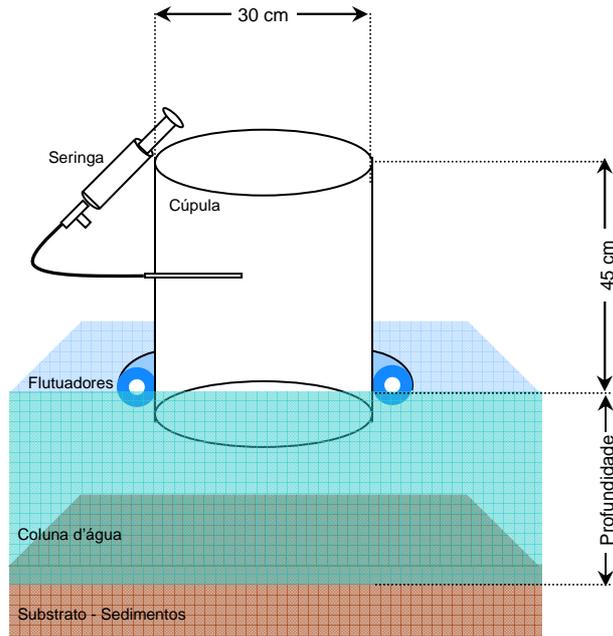


Figura 4.2 – Conjunto para a coleta de ar com a cúpula e seringa.

Fonte: Adaptado de Marani (2007)

Em cada cúpula eram coletadas quatro amostras de ar em intervalos regulares. A primeira amostra era coletada no minuto inicial, sendo as seguintes feitas nos minutos 5, 10 e 15. O fluxo é definido pela variação do metano na cúpula ao longo do tempo. Neste caso, as 4 seringas obtidas por cúpula em cada ponto definem 1 fluxo. Em todos os pontos foram coletadas amostras de ar ambiente para validação dos fluxos obtidos.

4.4 Metano dissolvido

Nos pontos onde as cúpulas foram colocadas para coletar o metano emitido pela superfície da área alagada, também foram feitas coletas para se determinar o perfil do metano dissolvido na coluna d'água. Utilizando uma garrafa de Van Dorn, com volume de 2 litros, foram coletadas amostras d'água logo abaixo da superfície (subsuperficial), no meio da coluna d'água e próximas ao sedimento. A técnica empregada para determinar a concentração de metano dissolvido da água é conhecida como “*headspace*” (IOFFE; VITENBERG, 1984) e consiste em retirar, com uma seringa, 30 ml de água

coletada pela garrafa de Van Dorn. Em seguida, são adicionados mais 30 ml de ar ambiente. A seringa é agitada manualmente por aproximadamente dois minutos, permanecendo posteriormente mais dois minutos em repouso. O metano é um gás pouco solúvel em água e a agitação da seringa possibilita que quase a totalidade do metano dissolvido seja transferida para o ar adicionado à seringa. Após a fase de repouso, o ar é injetado num frasco de amostragem previamente evacuado, de volume de 20 ml.

4.5 Determinação das concentrações de metano

As amostras de ar coletadas através do método da cúpula (fluxo de metano) e do método de “*headspace*” (metano dissolvido) foram analisadas no Laboratório de Ozônio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizado em São José dos Campos. A concentração do metano foi determinada utilizando-se um cromatógrafo a gás, da marca Shimadzu, modelo GC-14A, otimizado para análise do metano por Alvalá (1995).

A cromatografia pode ser definida como um processo físico-químico de separação onde os constituintes da amostra são distribuídos entre uma fase estacionária e uma fase móvel (CIOLA, 1985). Essa técnica é amplamente usada em estudos de metano devido à grande precisão, sensibilidade e linearidade conseguidas, sendo muito eficaz na determinação de gases-traço (ALVALÁ, 1985).

No processo de cromatografia, a amostra de ar é injetada na coluna através de um sistema de “*loop*” onde um gás de arraste (fase móvel), a uma velocidade constante, transporta a amostra ao longo da coluna cromatográfica, onde as diferenças entre a interação dos constituintes da amostra com o material que compõe a coluna (denominada de fase estacionária) faz com que cada constituinte a percorra em diferentes tempos, ocasionando na separação dos constituintes. No final da coluna cromatográfica encontra-se um detector de ionização de chama (DIC). O gás (componentes da amostra + gás de arraste) é misturado com hidrogênio e ar sintético, os quais são queimados em um

queimador de aço inoxidável. O detector, altamente sensível a compostos orgânicos, capta a corrente elétrica produzida pela formação de íons e elétrons originados na queima da amostra. O sinal gerado quando o metano passa pelo detector é enviado a um computador que gera um gráfico, denominado de cromatograma. Quando o metano é detectado na amostra, o gráfico produz um pico, onde o computador informa a área do referido pico. São retiradas 3 alíquotas de cada amostra e para se obter a concentração da amostra, a área média da amostra é confrontada com a área média do gás padrão, o qual tem 1804 ppbv. A precisão relativa da média de cada amostra é de 1% ou menor. A figura 4.3 apresenta a configuração típica do sistema de cromatografia gasosa.

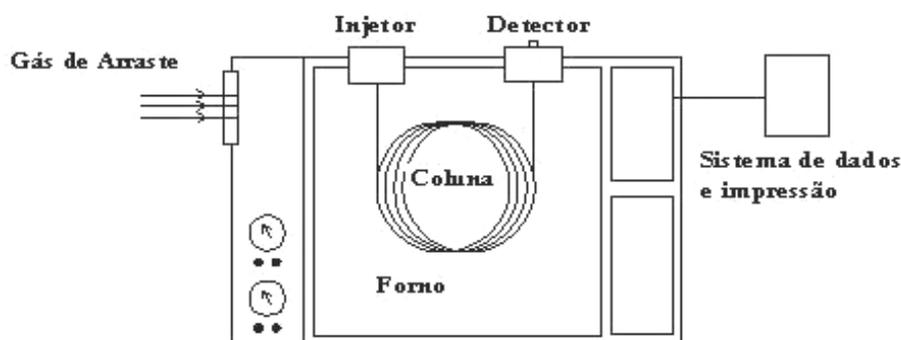


Figura 4.3 – Componentes básicos de um cromatógrafo a gás.
Fonte: Adaptada de Ciola (1985).

4.6 Determinação dos fluxo de metano

A determinação do fluxo de metano emitido pela superfície da coluna d'água é obtido a partir da variação temporal da sua concentração no interior da cúpula.

A concentração de metano em uma amostra de gás pode ser escrita como a razão entre sua pressão parcial (p_i) e a pressão total (p_t), ou pela razão entre o número de moles de CH_4 (n_{CH_4}) e o número total de moles da mistura (n_t). O número de moles de uma substância presente na amostra é dado pela razão entre a massa da substância (m_{CH_4}) e sua massa molar (M_{CH_4}) ou $n_{\text{CH}_4} =$

$m_{\text{CH}_4}/M_{\text{CH}_4}$. Adotando-se uma variação no número de moles de metano (Δn_{CH_4}), e aplicando-se a equação dos gases ideais ($pV = nRT$), pode-se escrever:

$$\frac{\Delta n_{\text{CH}_4}}{n_t} = \frac{\Delta m_{\text{CH}_4} RT}{M_{\text{CH}_4} pV} = \Delta \chi_{\text{CH}_4} \quad (4.1)$$

ou

$$\Delta m_{\text{CH}_4} = \frac{\Delta \chi_{\text{CH}_4} pVM_{\text{CH}_4}}{RT} \quad (4.2)$$

onde p é a pressão total (atm), V o volume total (litros), M_{CH_4} é a massa molar do metano (16,04 g mol⁻¹), R é a constante dos gases (0,082 atm l mol⁻¹ K⁻¹) e T é a temperatura (K). O termo $\Delta \chi_{\text{CH}_4}$ refere-se à razão de mistura do metano. Admitindo-se que a variação do fluxo através da área A (m²) é constante durante um intervalo de tempo Δt , pode-se escrever que o fluxo Φ_{CH_4} (em mgCH₄ m⁻² dia⁻¹) como:

$$\Phi_{\text{CH}_4} = \frac{\Delta \chi_{\text{CH}_4} pVM_{\text{CH}_4}}{\Delta t ART} = \frac{pVM_{\text{CH}_4}}{ART} \frac{\Delta \chi_{\text{CH}_4}}{\Delta t} = \frac{pVM_{\text{CH}_4}}{ART} \frac{\partial \chi_{\text{CH}_4}}{\partial t} \quad (4.3)$$

A mais importante variável em (4.3) é $\partial \chi_{\text{CH}_4} / \partial t$, que é a derivada das medidas de concentração. Todas as demais variáveis são medidas diretamente no momento da coleta. A grandeza $\partial \chi_{\text{CH}_4} / \partial t$ é estimada a partir da regressão linear, considerando-se $\partial \chi_{\text{CH}_4} / \partial t$ como o “b” em $\chi = \chi_0 + bt$, e o coeficiente de correlação r entre χ e t é uma medida da incerteza em $\partial \chi_{\text{CH}_4} / \partial t$.

Para se utilizar a regressão linear na obtenção de $\partial \chi_{\text{CH}_4} / \partial t$, considera-se que o fluxo é constante durante o tempo de coleta das amostras. Conforme suas características de transporte ao longo da coluna d’água, o fluxo de metano

pode ser dividido em fluxo difusivo e fluxo ebulitivo. No primeiro, o metano produzido nos sedimentos se difunde lentamente na água, até atingir a superfície e ser emitido para a atmosfera. Esse tipo de fluxo é aproximadamente constante. No fluxo ebulitivo, a emissão de metano do substrato se dá através de bolhas, que são liberadas quase instantaneamente para a atmosfera. Nesse tipo de fluxo, que é esporádico, as quantidades liberadas de metano normalmente são maiores que no fluxo difusivo. Na figura 4.4 são mostrados gráficos característicos de fluxo difusivo e de fluxo ebulitivo. O gráfico da esquerda apresenta um caso de fluxo difusivo e a linearidade entre χ e t é mantida. Já no gráfico da direita observa-se a ocorrência de bolhas entre o primeiro minuto e o minuto 5, havendo um aumento de aproximadamente 2000 ppbv nesse intervalo.

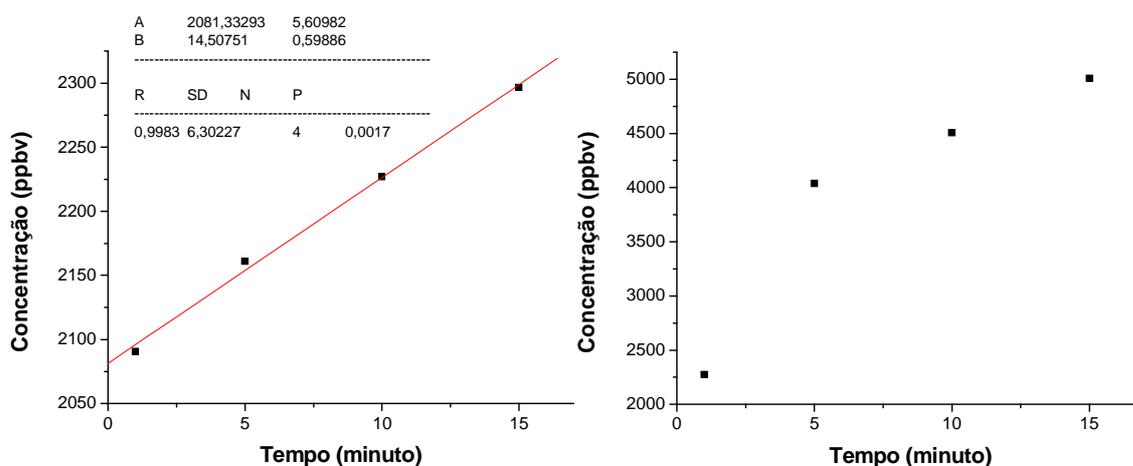


Figura 4.4 – Variação temporal da concentração medida no interior da cúpula para fluxos difusivos (esquerda) e fluxos ebulitivos (direita).

Quando um fluxo ebulitivo ocorre, o fluxo não pode ser considerado constante e o coeficiente de correlação entre a concentração e o tempo cai. Nesses casos, pode-se obter apenas um fluxo médio a partir da diferença entre as concentrações inicial e final dentro da cúpula.

4.6.1 Validação dos fluxos

Durante o processo para a obtenção do fluxo podem ocorrer erros ou contaminação das amostras, desde a coleta até a análise cromatográfica, que inviabilizam a utilização do fluxo. Para assegurar a confiabilidade dos dados obtidos, alguns critérios foram adotados. Isso permite validar os fluxos, além de poder classificá-los como ebulitivos ou difusivos.

O primeiro critério é dado pelo quadrado do coeficiente de correlação (r^2). Valores acima de 0,9 garantem a linearidade requerida para um fluxo difusivo. Este critério é adotado em diversos estudos sobre metano, podendo citar Sass *et al.*, 1992; Khalil *et al.*, 1998 e Alvalá e Kirchhoff, 2000. O segundo critério baseia-se na comparação entre a concentração inicial de metano χ_0 (para $t = 0$), obtida a partir da regressão linear, e a concentração a concentração do metano existente no ar atmosférico coletado nos pontos de amostragem. As duas concentrações devem apresentar valores semelhantes. Sendo respeitados esses dois critérios, o fluxo é considerado válido e difusivo.

No caso de fluxos ebulitivos, existem situações em que o r^2 é maior que 0,9, havendo uma linearidade, porém, de forma geral, não satisfazem o segundo critério. Analisando a curva do fluxo é possível notar a ocorrência de uma bolha durante a coleta quando é observado um crescimento abrupto na concentração medida no interior da cúpula (Smith *et al.*, 2000). No caso de fluxos ebulitivos, um terceiro critério foi adotado para validação. A ocorrência de bolhas e conseqüentemente o aumento abrupto da concentração de metano no interior da cúpula só foram considerados após o minuto inicial. Fluxos onde a concentração no minuto inicial apresentava-se muito superior a concentração do ar ambiente foram descartados para evitar situações em que perturbações ao se colocar a cúpula na água fossem confundidas com bolhas.

4.7 Determinação da concentração de metano dissolvido

O metano dissolvido nas amostras de água coletadas abaixo da superfície, meio e fundo foi separado do meio aquoso utilizando a técnica de “*head space*” que consiste na inserção da amostra de água num frasco de amostragem que é agitado de forma a liberar o metano dissolvido. O gás existente no frasco após a agitação é analisado em laboratório através de cromatografia gasosa, obtendo a razão de mistura (ppbv) do metano. Utilizando a lei dos gases ideais, é possível determinar a concentração por litro do metano dissolvido.

Sabendo que:

$$\frac{p_{\text{CH}_4}}{p_t} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_t} \Rightarrow p_{\text{CH}_4} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_t} p_t \quad (4.4)$$

Onde p_{CH_4} é a pressão parcial do CH_4 , p_t é a pressão total, n_{CH_4} é o número molar de CH_4 na amostra e n_t é o número total de moles da amostra. Além disso, com m_{CH_4} sendo a massa total do metano na amostra e M_{CH_4} (16,04 g mol^{-1}) sendo a massa molar do CH_4 , temos:

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{CH}_4}}{M_{\text{CH}_4}} \Rightarrow m_{\text{CH}_4} = n_{\text{CH}_4} \cdot M_{\text{CH}_4} \quad (4.5)$$

Logo, considerando que:

$$pV = nRT \Rightarrow p_{\text{CH}_4} V = \frac{m_{\text{CH}_4}}{M_{\text{CH}_4}} RT \quad (4.6)$$

Onde V é o volume da amostra, R é a constante dos gases ($R = 0,082$ atm.l.mol $^{-1}$.K $^{-1}$) e T é a temperatura (em Kelvin), pode-se obter:

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{p_{\text{CH}_4} V M_{\text{CH}_4}}{RT} \quad (4.7)$$

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_t} \frac{p_t V}{RT} M_{\text{CH}_4} \quad (4.8)$$

Lembrando que:

$$\chi_{\text{CH}_4} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_t} \quad (4.9)$$

Temos que:

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{p_t V}{RT} M_{\text{CH}_4} \chi_{\text{CH}_4} \quad (4.10)$$

Assim, a concentração (massa/volume) de metano na amostra de ar é:

$$\frac{m_{\text{CH}_4}}{V} = \frac{p_t M_{\text{CH}_4}}{RT} \chi_{\text{CH}_4} \quad (4.11)$$

Lembrando que, para determinar o metano dissolvido na água, χ_{CH_4} é a razão de mistura no ar ambiente misturado à água no momento da coleta. Como o volume de ar adicionado (30 ml), a equação 4.11 nos dá diretamente a concentração de metano dissolvido na água.

4.7.1 Fluxo difusivo estimado a partir do metano difusivo

A troca difusiva de gás entre a superfície da água e a atmosfera pode ser estimada através do modelo de filme estagnado (LEWIS; WHITMAN, 1924). Neste modelo considera-se a superfície sem perturbações e a inexistência de um fluxo de água, sendo assim uma primeira aproximação para a estimativa de trocas gasosas entre a água e a atmosfera. E neste modelo deve-se considerar uma camada superficial onde a troca efetivamente ocorre, chamada de camada limite (δ_c), com espessura de filme fino. Segundo Hamilton *et al.* (1995), para águas naturais, sem perturbações, pode-se considerar $\delta_c = 300 \mu\text{m}$ ($3 \times 10^{-6} \text{ m}$). A taxa de troca do gás entre a água e o ar depende da chamada difusividade do gás. Este fator pode ser entendido como a capacidade que as substâncias possuem de se difundir na água e está relacionado com a temperatura. Segundo Wise (1966), para uma temperatura de 30°C , a difusividade será de $D = 3 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Desta forma, o fluxo estimado (ϕ) é calculado por (LEWIS; WHITMAN, 1924):

$$\phi = \frac{D}{\delta_c} \Delta C_{\text{água}} \quad (4.12)$$

Onde a variável $\Delta C_{\text{água}}$ corresponde à diferença entre a concentração do metano dissolvido na água (subsuperficial) e a atmosfera.

4.8 Parâmetros ambientais

Nos pontos de amostragem também foram feitas medições de vários parâmetros ambientais da coluna d'água, utilizando-se uma sonda multiparâmetros de qualidade de água da marca Horiba, modelo U-51. Esse aparelho portátil é extremamente prático, permitindo a medida de grande quantidade de parâmetros, com boa precisão e confiabilidade. A sonda, presa a um cabo de 30 m de comprimento possibilita a medição de pH, potencial de oxirredução (ORP), oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (TSD) e temperatura da água. A tabela 4.1 apresenta a faixa

de medida, resolução e precisão obtidos pelo aparelho para cada um dos parâmetros medidos.

4.9 Análise estatística

A influência das variáveis ambientais nas variações temporal e espacial nos fluxos foi avaliada por técnicas estatísticas de multivariáveis (componentes principais), como descrito por Wilks (2006).

Tabela 4.1 – Faixa de medida, resolução e precisão dos parâmetros medidos

PARÂMETRO	FAIXA DE MEDIDA	RESOLUÇÃO	PRECISÃO
pH	0-14	0,01	±0,1
Potencial de oxirredução	-2000 ~ +2000 mV	1 mV	±15 mV
Oxigênio dissolvido	0-50 mg/l	0,01 mg/l	0-20 mg/l: ±0,2mg/l 20-50 mg/l: ±0,5 mg/l
Condutividade elétrica	0-10 S/m	0,0-99,9 mS/m: 0,1 0,1-0,999 S/m: 0,001 1,0-9,99 S/m: 0,01	1% da escala total (ponto médio de dois pontos de calibração)
Sólidos totais dissolvidos	0-100 g/l	0,1% da escala total	±5 g/l
Temperatura d'água	-5°até 55°C	0,01°C	-

A análise dos componentes principais consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados. Em outras palavras, das n-variáveis originais obtêm-se, através de combinações lineares, n-componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante.

Este método permite a redução da dimensionalidade dos pontos representativos das amostras, pois, embora a informação estatística presente nas n-variáveis originais seja a mesma dos n-componentes principais, é

comum obter em apenas 2 ou 3 das primeiras componentes principais mais de 90% desta informação. A construção das matrizes de covariância e correlação, para cada conjunto de dados pretendidos será feito utilizando-se a Análise de Fatores (Factor Analysis) de um software estatístico. Através dessa análise pode-se refinar o estudo da influência das variáveis ambientais na emissão de metano, observando se existe alguma influência significativa e como estas variáveis estão inter-relacionadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Introdução

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho foram realizadas duas campanhas de campo: a primeira em setembro de 2009 e a segunda em março de 2010, visando a coleta de dados durante a época da seca e cheia, respectivamente. No total, foram feitas medições em 10 dias e em 10 locais, na sub-região do Abobral, próximos à Base de Estudos do Pantanal (B.E.P.) da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), situada na localidade do Passo do Lontra (19° 34,6'S e 57° 01,1'O), no município de Corumbá. A B.E.P. ofereceu infra-estrutura para estadia, alimentação, além do barco usado nas coletas e do laboratório utilizado para a preparação e posteriormente a organização do material coletado. As coletas foram feitas ao longo da estrada vicinal conhecida como Estrada Parque, devido à facilidade de acesso aos pontos de coleta.

5.2 Fluxo de metano

Ao longo das duas campanhas foram coletadas 712 amostras que resultaram em 151 fluxos válidos, das quais 67 foram classificadas como difusivos e 84 ebulitivos. Os fluxos difusivos nas duas campanhas apresentaram uma variação entre 1,3 e 150,8 $\text{mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com um fluxo médio de $15,9 \pm 27,9$ e uma mediana de $5,7 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Porém, o maior número de casos e os maiores valores de fluxo ocorreram de forma ebulitiva; a faixa de variação foi de 1,8 a 2470 $\text{mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com fluxo médio de $281,9 \pm 424,8 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e mediana de $119,2 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. A média geral dos 151 fluxos foi de $163,8 \pm 343,2 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com uma mediana de $39,0 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. O valor de média geral obtido nesse trabalho apresenta valores maiores aos encontrados por Marani (2007) no Pantanal ($116,8 \pm 275,8 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, com uma mediana de $11,1 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$), assim como as médias obtidas por Smith *et al.* (2000) nas áreas alagadas do Rio Orinoco ($114 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$) e por Bartlett e Harris (1993) na planície amazônica ($148 \text{ mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$).

A grande variabilidade observada neste trabalho entre as médias é explicada pela presença de fluxos muito intensos, observados principalmente na forma ebulitiva. Foi observado que 45% do total dos fluxos ebulitivos apresentaram valores na faixa de 1 a 100 mgCH₄m⁻²d⁻¹. Essa porcentagem é inferior à encontrada por Marani (2007) no Pantanal e por Crill *et al.* (1988) na região amazônica, que obtiveram 80 e 92%, respectivamente. No entanto, fluxos com valor acima de 1000 mgCH₄m⁻²d⁻¹, foram observados em 7,1% do total, valor superior aos 2,7% observados por Marani (2007) nos anos de 2004 e 2005. A ocorrência de fluxos com esta intensidade é esporádica, porém são muito importantes para a estimativa da emissão de metano de uma região (Bartlett *et al.*, 1988).

A tabela 5.1 apresenta os valores de média, desvio padrão, mediana e variação para difusivos e ebulitivos. Os dados são apresentados primeiramente separados para cada época (seca e cheia) e posteriormente englobando todos os fluxos difusivos e ebulitivos independente da época.

5.3 Parâmetros ambientais

A variação dos parâmetros ambientais pode causar alterações físico-químicas na coluna d'água e no substrato, influenciando a produção e emissão de metano. Os fatores analisados neste trabalho foram a profundidade da área alagada, a temperatura do ar e da água, o pH, o potencial de oxirredução (ORP), a condutividade elétrica, o oxigênio dissolvido (OD), e o total de sólidos dissolvidos (TSD).

A maioria dos trabalhos sobre parâmetros ambientais referencia a influência dos mesmos no substrato onde se localizam as bactérias produtoras de metano, havendo poucos trabalhos que estudam a influência dos parâmetros ambientais na coluna d'água e o quanto isso afeta o transporte e o consumo do metano até a superfície.

Tabela 5.1 – Fluxos obtidos e valores de média, desvio padrão, mediana e variação para difusivos e ebulitivos.

Fluxo (mgCH₄ m⁻² dia⁻¹)				
Setembro 2009				
	<i>Número</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Varição</i>
Difusivo	53	6,6 ± 5,5	5,3	1,3 – 31,6
Ebulitivo	20	285,5 ± 579,4	80,4	7,9 – 2470
Total	73	83,1 ± 323	6,7	1,3 - 2470
Março 2010				
	<i>Número</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Varição</i>
Difusivo	14	50,8 ± 46,5	43,8	5,6 – 150,8
Ebulitivo	64	280,7 ± 369,5	139,3	1,8 - 2098
Total	78	239 ± 346,3	108,5	1,8 - 2098
Setembro/Março				
	<i>Número</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Varição</i>
Difusivo	67	15,9 ± 27,9	5,7	1,3 – 150,8
Ebulitivo	84	281,9 ± 424,8	119,2	1,8 - 2470
Total	151	163,9 ± 343,2	39,1	1,3 - 2470

No caso do fluxo ebulitivo, a variação dos parâmetros pode ter influência na síntese e no consumo do metano enquanto esse se encontra na forma de bolha presa ao sedimento. Uma vez que a bolha é liberada, as condições da coluna d'água terão pouca influência devida à rápida ascensão até a superfície.

Inicialmente pretendia-se fazer medições em três profundidades (subsuperficial, meio e fundo). Porém, a baixa profundidade encontrada no Pantanal permitiu apenas medições subsuperficiais e de fundo. Os poucos dados coletados no meio da coluna d'água não apresentaram diferenças significativas em relação aos outros perfis. Em todos os pontos de coleta foi possível fazer a medição subsuperficial, mas em apenas 69% dos pontos foi

possível fazer medições no fundo, novamente devido à baixa profundidade em alguns dos locais analisados.

A tabela 5.2 apresenta as médias, desvio padrão e a faixa de variação dos parâmetros ambientais medidos próximo à superfície da água para a época de seca e de cheia.

Tabela 5.2 – Média, desvio padrão e faixa de variação dos parâmetros ambientais para época de seca e cheia.

Parâmetro Ambiental	Seca		Cheia	
	Média	Faixa	Média	Faixa
Profundidade (m)	0,7 ± 0,4	0,2 – 1,3	1 ± 0,5	0,3 – 2,0
Temperatura Ar (°C)	29,6 ± 3,6	23,8 - 35,6	31 ± 1,5	27 – 33
Temperatura Água (°C)	29,1 ± 3,3	25,4 – 35,2	30,4 ± 0,9	28,5 – 32,3
pH	-	7,6 – 9,2	-	2 – 5,8
ORP (mV)	120,3 ± 44,1	53 – 192	345,3 ± 70	216 – 448
Condutividade elétrica (S/m)	0,09 ± 0,04	0,053 – 0,146	0,08 ± 0,04	0,026 – 0,154
Oxigênio dissolvido (mg/l)	8,2 ± 2,6	3,4 – 14,9	4,4 ± 2,2	1,1 – 8,0
TSD (g/l)	0,06 ± 0,02	0,034 – 0,095	0,05 ± 0,03	0,017 – 0,1

5.3.1 Profundidade

Diversos trabalhos mostram que altura da coluna d'água apresenta correlação com a emissão de metano (RASK *et al.*, 2002). Segundo Roslev e King (1996), áreas alagadas com menores profundidades geralmente emitem menores quantidades de metano na forma difusiva. O fato se deve a diminuição da área de metanogênese e aumento do oxigênio dissolvido na água. Por outro lado, em grandes profundidades, a permanência maior do CH₄ dissolvido na coluna

d'água permite seu consumo por bactérias metanotróficas. Já a liberação de bolhas de metano, apesar de ser um evento esporádico (BARTLETT *et al.*, 1988), depende da pressão hidrostática. Desta forma, a ocorrência de fluxo ebulitivo está inversamente relacionada com a profundidade (KELLER E STALLARD, 1994). A figura 5.1 apresenta os valores de fluxo difusivos e ebulitivos em função da profundidade obtida neste estudo.

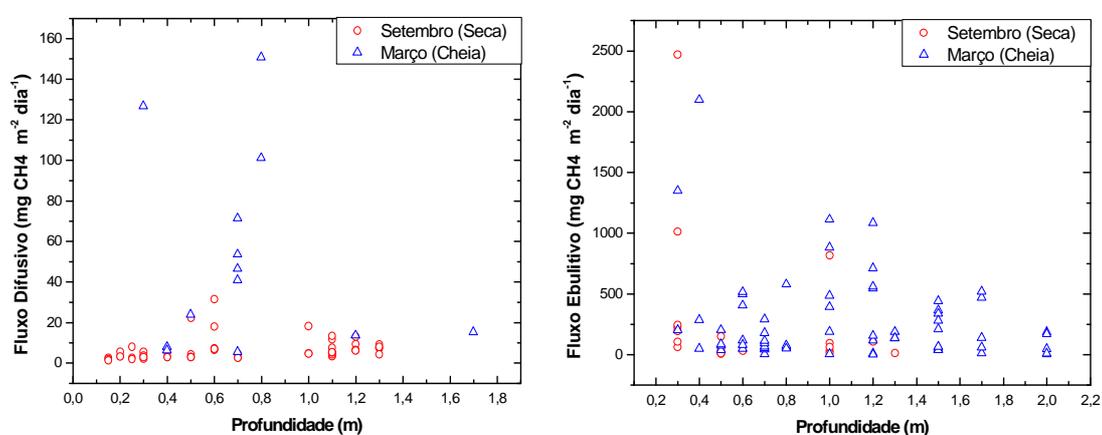


Figura 5.1 – Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da profundidade.

Em baixas profundidades a emissão de metano por meio difusivo foi pequena, em acordo com o afirmado por Roslev e King (1996). Os maiores valores de fluxo ocorreram entre 0,5 e 1,0 m. Além dessa faixa, conforme a profundidade aumenta, ocorre uma diminuição na emissão possivelmente explicada pelo aumento do tempo em que o metano fica sujeito à ação de bactérias metanotróficas existentes na coluna d'água, metabolizando-o em gás carbônico.

Os maiores valores individuais na forma ebulitiva ocorreram em profundidades pequenas, variando entre 0,2 e 0,4 m. De forma geral, com o aumento da profundidade observou-se um declínio na emissão de metano por bolhas. Um

fator que pode explicar esse comportamento é que, quanto maior é a profundidade, maior também é a pressão hidrostática, dificultando o desprendimento das bolhas. Desta forma, as bolhas presas no sedimento podem se dissolver na coluna d'água ou serem consumidas por bactérias metanotróficas.

5.3.2 Temperatura da água e do ar

A temperatura é um fator que influencia a produção de metano (AGOSTINETTO *et al.*, 2002), sendo que a faixa ótima se encontra entre 15 e 37°C (YANG E CHANG, 1998). Dentro dessa faixa, em temperaturas maiores, as bactérias metanogênicas podem utilizar tanto CO₂ como acetato como precursores para produção de metano, enquanto que em temperaturas menores apenas o acetato é utilizado, reduzindo a quantidade de metano produzido (CHIN *et al.*, 1999).

A temperatura da água próxima à superfície apresentou valores próximos à temperatura do ar, com $r^2 = 0,79$, conforme é possível constatar na Figura 5.2. Desta forma, os gráficos apresentados dos fluxos em função das medições feitas subsuperficialmente apresentam bastante similaridade aos feitos com as medidas da temperatura da água.

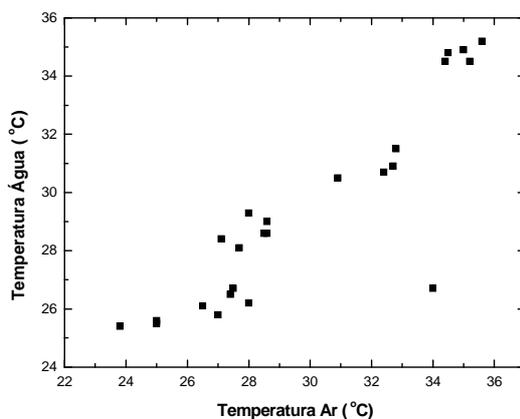


Figura 5.2 – Variação da temperatura da água próxima à superfície em função da temperatura do ar.

Os valores de temperatura medidos na primeira campanha próximos à superfície da água variaram de 25,4° a 35,2°C. Essa faixa de variação aconteceu devido à chuva e queda de temperatura ocorrida ao longo da campanha. Os três primeiros dias de medição foram os mais quentes, com a temperatura do ar atingindo o máximo de 35,6°C. A profundidade dos pontos, quando a temperatura estava mais elevada, era sempre pequena, impossibilitando a medição próxima ao substrato. A partir do quarto dia da campanha, a temperatura do ar estava mais amena, com média em torno de 26°C. A faixa de variação da temperatura subsuperficial da água observada em março de 2010 foi menor, ocorrendo entre 28,5 e 31,2°C.

A figura 5.3 apresenta os gráficos de fluxo difusivo e ebulitivo de metano em função da temperatura da água. Apesar da faixa de variação da temperatura ter sido grande, é possível observar um aumento na emissão difusiva quando a temperatura varia entre 30 e 32°C. Para fluxos ebulitivos, há um aumento na curva conforme há um aumento da temperatura, atingindo um ápice em torno de 31°C. Após esse valor, de forma geral há uma queda na frequência de casos ebulitivos assim como na intensidade.

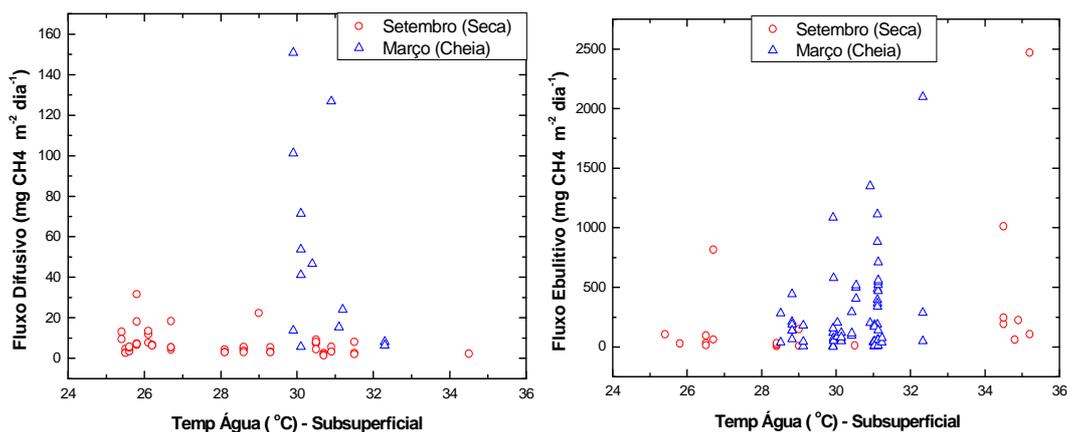


Figura 5.3.A - Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da temperatura da água subsuperficial.

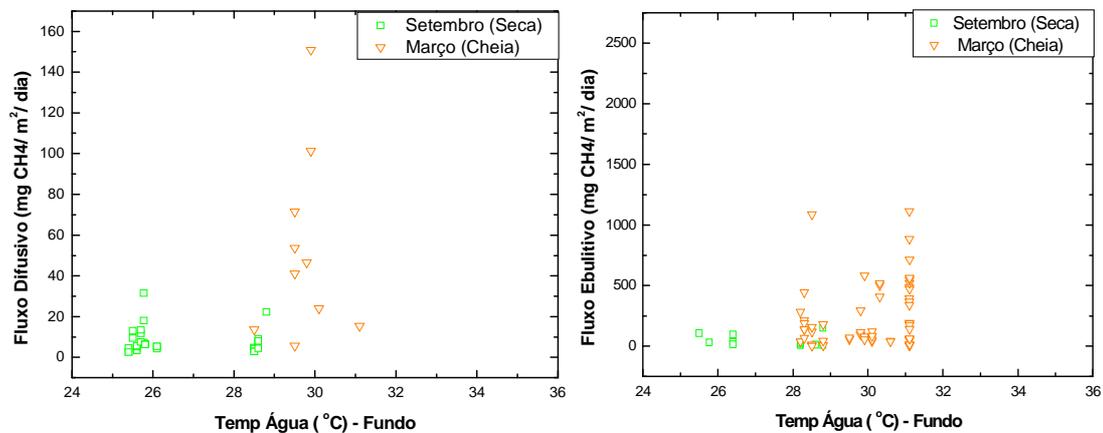


Figura 5.3.B - Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da temperatura da água no fundo.

O comportamento do fluxo difusivo em relação às medidas de temperatura feitas próximas ao substrato mostrou similaridade, conforme observado na Figura 5.3. Para fluxos ebulitivos, as medidas de fundo apresentam uma diferença em relação às subsuperficiais quanto à faixa de variação em que ocorreram. Devido à baixa profundidade em alguns pontos, os valores de temperatura no fundo variaram de 25,5 a 31°C, sendo observado um aumento no número de casos e na intensidade dos fluxos ebulitivos a partir dos 28°C.

5.3.3 pH

A maioria dos organismos produtores de metano apresenta melhor produção em condições de pH próximo à neutralidade, sendo mais eficientes na realização do processo quando o pH varia de 6,4 a 7,8 (WANG *et al.*, 1993). Segundo Yang e Chang (1998), quando o pH é inferior a 3,2 (meio ácido) ou superior a 9,3 (meio básico), ocorre inibição na produção de metano.

Os valores de pH da coluna d'água analisados apresentaram dois comportamentos distintos em relação às duas campanhas. Durante a época da seca o pH da água apresentou caráter alcalino, enquanto que, durante a época da cheia, o pH amostrado apresentou-se mais ácido. As planícies alagadas estudadas durante a época da cheia receberam um incremento de matéria

orgânica e nutrientes provenientes da cheias dos rios da região. A matéria orgânica apresenta caráter redutor, ou seja, sua oxidação implica na liberação de prótons e queda do pH do meio (LANGMUIR, 1997).

O pH observado subsuperficialmente variou de 7,2 a 9,2, para fluxos difusivos, mostrando um caráter mais alcalino, correspondendo ao período de seca. Durante a época da cheia, os valores oscilaram entre 3,2 e 5,4, apresentando caráter ácido. De forma geral, os maiores valores de fluxo difusivo e ebulitivo ocorreram em pH mais ácido. A Figura 5.4 apresenta o comportamento dos fluxos difusivos e ebulitivos em função do pH.

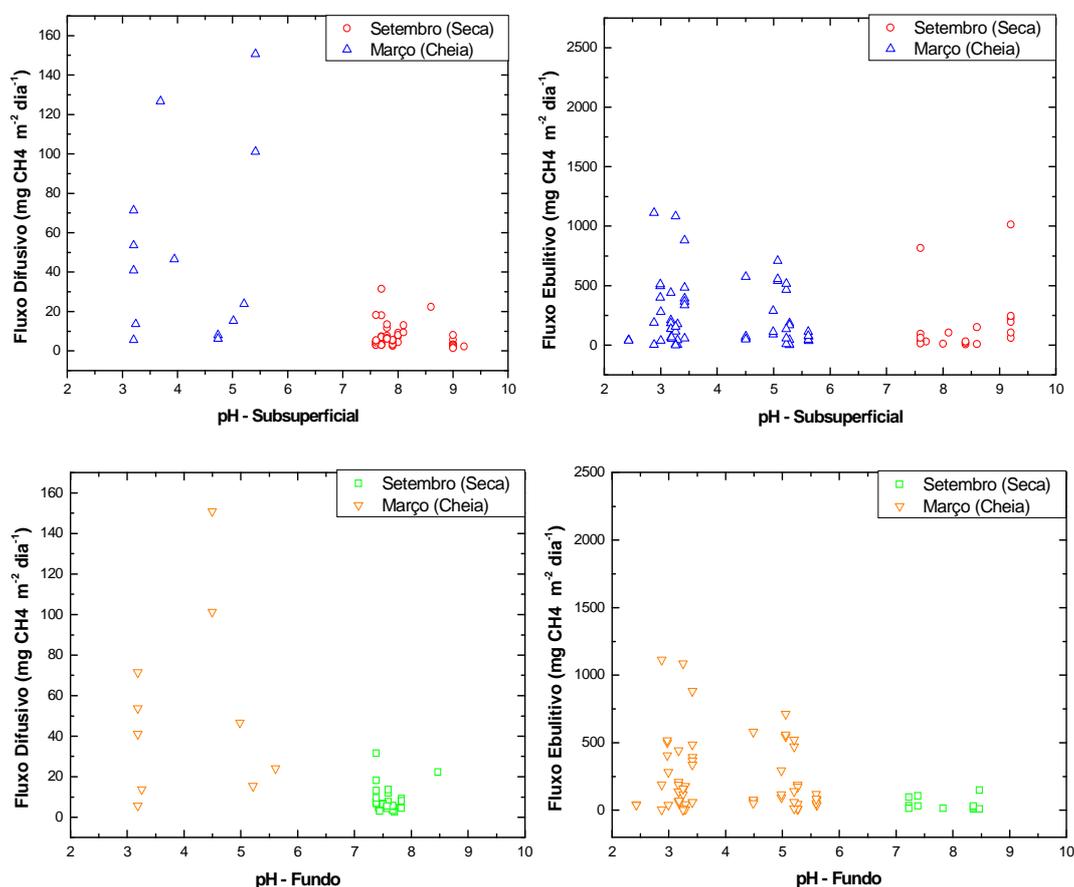


Figura 5.4 - **Parte superior:** Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do pH subsuperficial. **Parte Inferior:** Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do pH no fundo.

O comportamento dos fluxos observando as análises próximas ao sedimento é semelhante às já observadas nas medidas subsuperficiais. O gráfico que apresenta os fluxos ebulitivos em relação ao pH do fundo não apresenta alguns dos pontos de maior intensidade que ocorrem no gráfico do ebulitivo em função do pH subsuperficial (próximo ao pH 9) porque as lagoas permanentes onde foram obtidos esses fluxos de maior valor apresentavam baixa profundidade (aproximadamente 0,3 m), não permitindo as medições no fundo.

5.3.4 Oxigênio dissolvido (OD)

As bactérias metanogênicas precisam de um ambiente livre de oxigênio para a produção de metano. Porém, nem todo metano produzido no substrato atinge a atmosfera, devido à ação de bactérias metanotróficas que podem estar presentes na coluna d'água e que oxidam o metano, convertendo-o em CO₂ (AGOSTINETTO *et al.*, 2002). Estas bactérias necessitam de um habitat rico em oxigênio. Assim quanto maior o O₂ dissolvido na água, maior pode ser as populações destas bactérias, e mais metano dissolvido pode ser consumido antes de ser liberado para a atmosfera.

Na grande maioria dos casos, tanto para fluxos ebulitivos como difusivos, foi observada quando a concentração de oxigênio era pequena na coluna d'água (inferior a 10 mg/l). Com o aumento da concentração de oxigênio, apenas casos esporádicos foram registrados. As medidas subsuperficiais mostram que em ambos os mecanismos de transporte, o pico de emissão ocorreu quando a concentração do oxigênio estava em torno de 6 mg/l. Acima de 10 mg/l quase não houve emissão de metano para a atmosfera. Um ambiente rico em oxigênio inibe a produção do metano pelas bactérias metanogênicas, bem como favorece a oxidação através da coluna d'água pelas bactérias metanotróficas, no caso do transporte difusivo. A Figura 5.5 apresenta a curva dos fluxos difusivos e ebulitivos em função da concentração do oxigênio dissolvido medido próximo à superfície e no fundo.

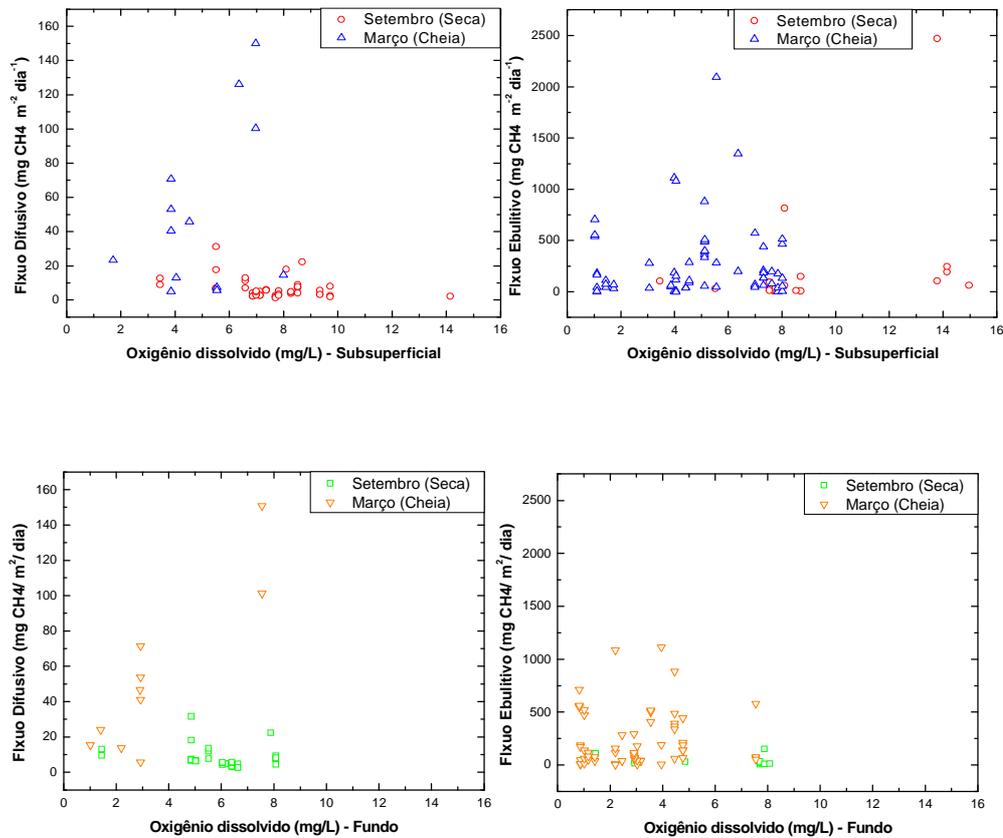


Figura 5.5 – **Parte superior:** Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do oxigênio dissolvido subsuperficial. **Parte Inferior:** Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do oxigênio dissolvido no fundo.

5.3.5 Potencial de oxirredução (ORP)

Solos aeróbicos, quando submersos, sofrem sucessivas reações de redução. Inicialmente há uma drástica redução do O₂, juntamente com a decomposição anaeróbica da matéria orgânica, seguidos de reações de redução do NO₃⁻ para N₂O e N₂, Fe³⁺ para Fe²⁺, Mn⁴⁺ para Mn²⁺, SO₄²⁻ para S²⁻, além de acumulação de CO₂ ou sua redução a CH₄ (WANG *et al.*, 1993). O potencial de oxirredução é um indicativo das reações de oxidação e redução existentes no meio. Essas reações estão interligadas uma vez que se uma molécula aceita elétrons, outra estará doando. A partícula que doa elétrons é oxidada, enquanto a que recebe é reduzida. Por convenção, o potencial de oxirredução é considerado positivo

quando o ambiente está reduzido e negativo quando oxidado. A matéria orgânica é o maior redutor em ambientes aquosos naturais, enquanto que o oxigênio é o maior oxidante. Quando a matéria orgânica em decomposição é introduzida num ambiente aquoso, o oxigênio diluído é consumido, causando alterações nos valores de ORP (LANGMUIR, 1997).

A Figura 5.6 apresenta os gráficos dos fluxos difusivos e ebulitivos em relação à ORP medida na subsuperfície e próxima ao sedimento. A faixa de variação das análises foi muito grande, ocorrendo entre 50 e 450 mV. Nas medidas subsuperficiais é possível perceber os valores obtidos na seca e na cheia bem distintos, sendo que a ORP durante o período de cheia de forma geral foi maior que o de seca. Os maiores valores de fluxo, difusivos e ebulitivos, ocorreram em valores mais altos de ORP, entre 300 e 400 mV. As medidas feitas próximas ao substrato apresentam uma variabilidade maior uma vez que os valores medidos na época da cheia não estão concentrados nos maiores valores de ORP, variando de 80 a 440 mV, enquanto que os valores obtidos na época da seca variaram apenas de 100 a 220 mV.

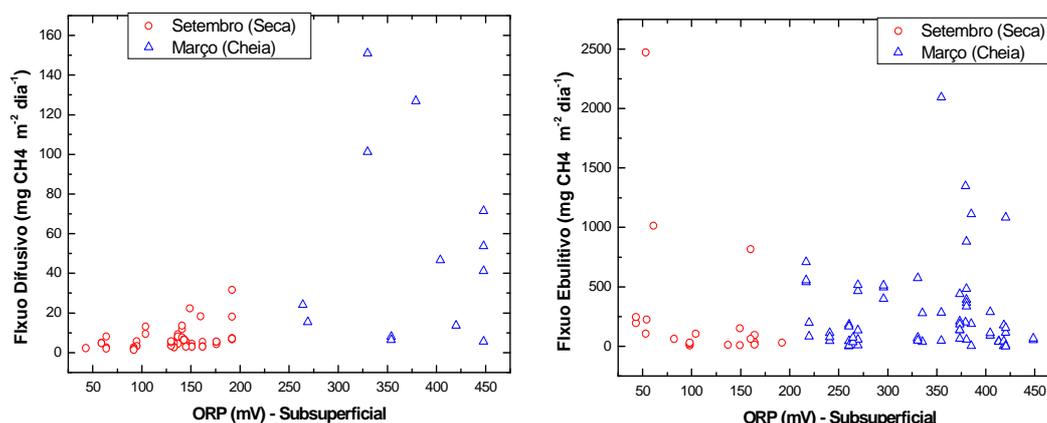


Figura 5.6.A – Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do ORP subsuperficial.

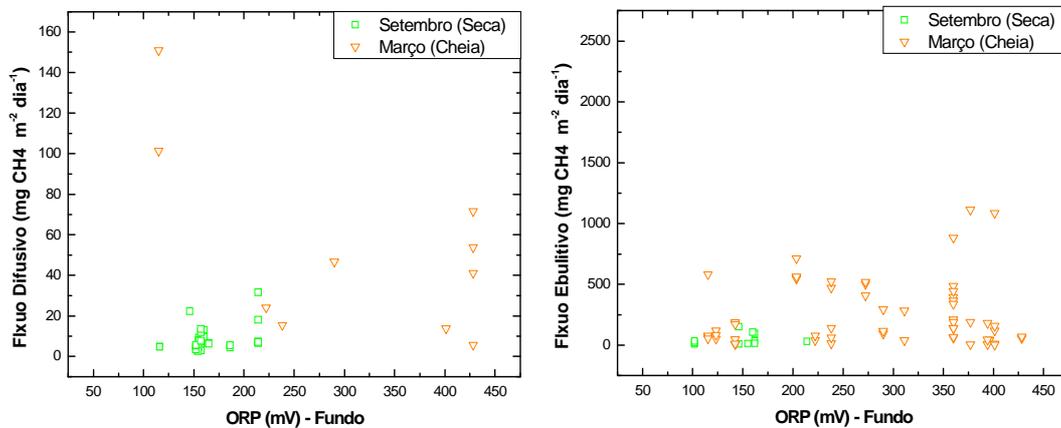


Figura 5.6.B – Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do ORP no fundo.

O valor de ORP está também associado com outros parâmetros, tais como pH e oxigênio dissolvido. O ambiente encontrado durante a época da cheia apresentava um incremento de matéria orgânica, apresentando uma menor concentração de oxigênio dissolvido (como visto na Figura 5.5) e pH mais ácido (Figura 5.4). Nessas condições os valores de ORP mostraram-se mais elevados (Figura 5.6). As maiores emissões de metano, tanto na forma difusiva quanto ebulitiva, ocorreram quando o ambiente apresentava esse conjunto de características.

5.3.6 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica não é um parâmetro medido neste tipo de análise de fluxo. Nenhum dos trabalhos consultados para a realização deste estudo apresentou qualquer referência à condutividade. A idéia de estudar alguma possível influência da condutividade na emissão do metano surgiu do fato de que a sonda multiparâmetros de análise da água utilizada neste trabalho também fornecia dados da condutividade elétrica.

Aparentemente, não há um padrão de comportamento da condutividade em relação ao fluxo de metano. Os valores medidos apresentavam diferença entre

os diversos locais onde foram feitas as coletas do metano. Porém o valor da condutividade não apresentava quase variação no mesmo local. É possível perceber na Figura 5.7 que os valores de fluxo agrupam-se ao longo de um mesmo valor de condutividade, devido à ausência de variação na área alagada onde foram coletadas. Cada agrupamento no gráfico sugere um ponto de coleta diferente.

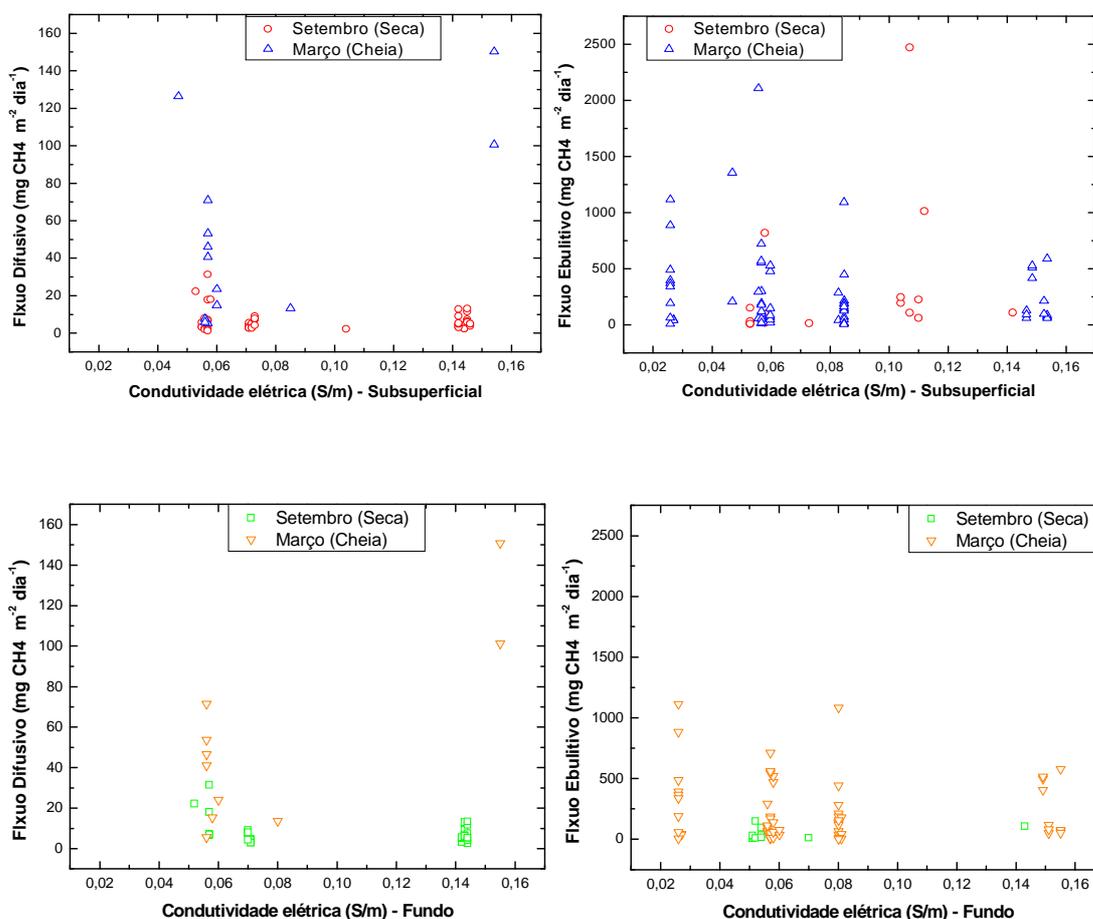


Figura 5.7 - **Parte superior:** Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da condutividade elétrica subsuperficial. **Parte Inferior:** Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função da condutividade elétrica no fundo.

5.3.7 Total de sólidos dissolvidos (TSD)

Com exceção de alguns fluxos, de forma geral, a emissão de metano apresentou uma queda conforme houve um aumento na concentração de sólidos dissolvidos na água. O pico de metano, para fluxos ebulitivos e difusivos, ocorreu entre 0,02 e 0,04 g/l, tanto para as medidas feitas na subsuperfície quanto para as próximas ao sedimento (Figura 5.8).

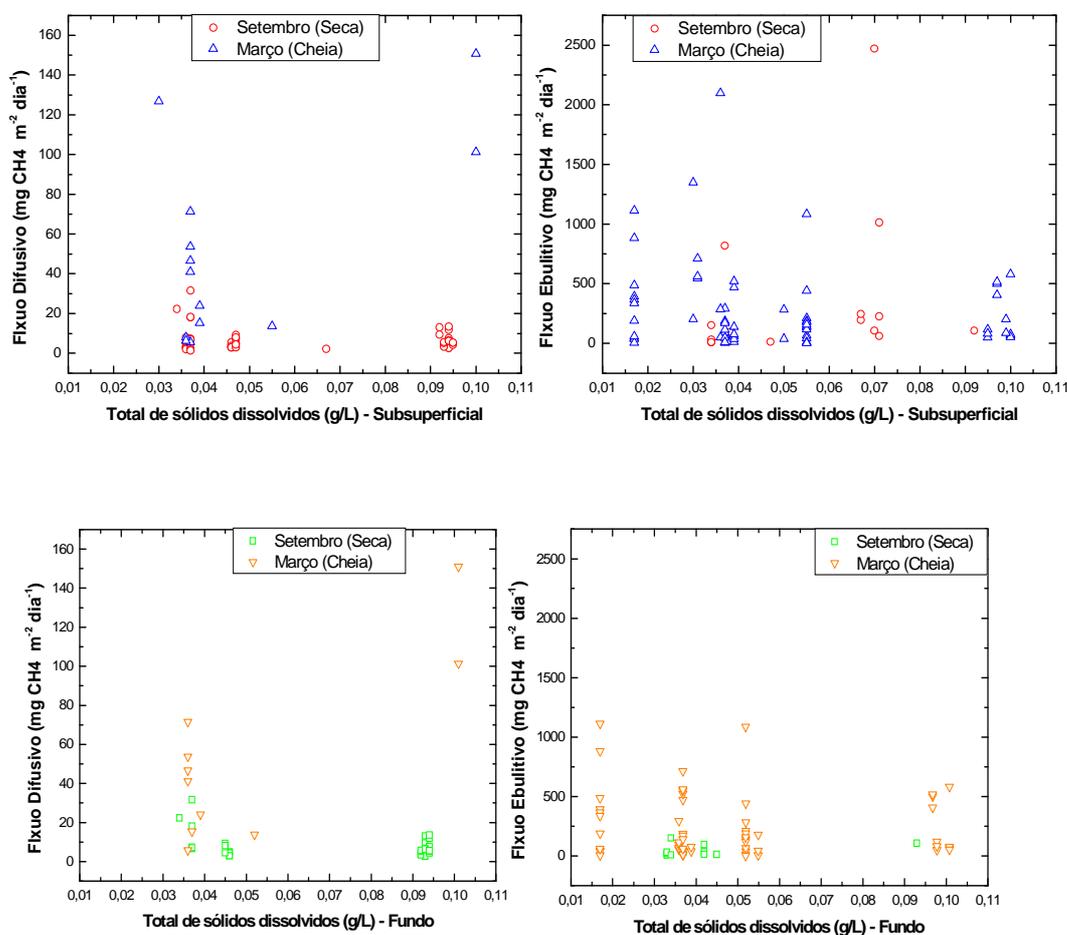


Figura 5.8 - **Parte superior:** Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do total de sólidos dissolvidos subsuperficial. **Parte Inferior:** Variação do fluxo difusivo (esquerda) e ebulitivo (direita) em função do total de sólidos dissolvidos no fundo.

Uma comparação entre os períodos de seca e de cheia não evidenciou uma separação entre os fluxos como o observado nas medidas de ORP, tanto para as medidas próximas à superfície como nas do fundo, evidenciando a

complexidade envolvida na atuação dos parâmetros em relação aos fluxos de metano.

5.4 Análise estatística

A análise visual dos gráficos nos permite ter uma primeira avaliação da influência dos parâmetros ambientais na emissão de metano. Porém, a interação entre os parâmetros e o quanto cada um influencia o fluxo de metano pode ser melhor avaliada com a análise estatística dos dados obtidos. A utilização de testes estatísticos e a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP) foram utilizadas para determinar a relevância das variabilidades observadas e das possíveis correlações entre os fluxos de metano e os parâmetros ambientais medidas.

Os parâmetros medidos foram: profundidade, temperatura do ar, temperatura da água, pH, potencial de oxirredução (ORP), condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e total de sólidos dissolvidos. Um programa estatístico foi utilizado para auxiliar a análise dos dados. Os resultados de correlação e ACP obtidos para cada conjunto de dados é apresentado no Apêndice A.

A análise de componentes principais realizou combinações lineares dos 8 parâmetros ambientais, obtendo as componentes principais (fatores) que são apresentados em ordem decrescente de importância. Escolheu-se o autovalor mínimo de 1, o que levou à criação de 2 à 3 fatores que concentram mais de 90% da informação relevante.

5.4.1 Análise estatística para fluxo difusivo

Inicialmente utilizou-se o teste de correlação dos fatores ambientais para o fluxo difusivo. Este teste mede a correlação linear entre duas variáveis. O cruzamento dos fatores indicou a existência de correlação para pH, oxigênio dissolvido e ORP (Tabela A.1, Apêndice A). Aplicou-se então a Análise das Componentes Principais. As oito variáveis foram lançadas no programa estatístico de forma a se obter o peso dos fatores (Fator Loading) dos dados.

Este recurso agrupa as variáveis que apresentam alguma correlação em fatores, determinando o peso da variável no grupo. Na avaliação dos fluxos difusivos, a variabilidade dos dados foi concentrada com apenas em 3 fatores. O primeiro mostrou relação entre a profundidade, condutividade e TSD. O segundo grupo relacionou o pH, oxigênio dissolvido e ORP. Por fim, o terceiro fator relacionou a temperatura do ar e da água (Tabela A.2, Apêndice A). Cada fator criado é analisado como uma nova variável independente. Dos três fatores gerados, apenas o segundo apresentou correlação (-0,53, $p = 0,0$) (Tabela A.3, Apêndice A), confirmando os resultados obtidos anteriormente pelo teste de correlação dos fatores. O (p) associado com o valor da correlação é o p -valor e dá o nível de significância observada para a correlação. Menores valores de (p) indicam que a correlação, mesmo que baixa, tem significância estatística. Nos testes realizados, aceito-se $p < 0,05$ como tendo significância.

Os resultados obtidos pela ACP mostraram que existe uma correlação negativa do fluxo com o pH e oxigênio dissolvido e positiva para ORP. Isso significa que uma diminuição do pH ou da concentração do oxigênio dissolvido aumenta a emissão de metano difusivo, assim como um aumento nos valores de ORP. As variações nos três fatores estão relacionadas com as cheias no Pantanal e a conseqüente adição de matéria orgânica e nutrientes no solo. O caráter fortemente redutor da matéria orgânica consome o oxigênio dissolvido existente na coluna d'água. As reações químicas de oxidação da matéria orgânica que se seguem acidificam o meio. O aumento do ORP é um indicativo de que o ambiente se encontra reduzido (LANGMUIR, 1997). O processo de decomposição da matéria orgânica nos sedimentos resultando na produção de metano realizado por bactérias metanogênicas ocorre em ambientes anaeróbicos (BARTTLET et al., 1988; DEVOL et al., 1988). O consumo da matéria orgânica ao longo do tempo implica numa desaceleração na atividade bacteriana, revertendo as condições dos parâmetros ambientais. A tendência é que, com a diminuição da matéria orgânica, o ambiente torne-se menos redutor, implicando numa queda dos valores de ORP, bem como num aumento do oxigênio dissolvido e do pH. Essas condições foram observadas nos dados

coletados na primeira campanha, em setembro de 2009, durante o período da seca.

5.4.2 Análise estatística para fluxo ebulitivo

Na análise da influência dos parâmetros ambientais no fluxo ebulitivo observou-se a existência de correlação apenas com as temperaturas da água e do ar (Tabelas A.4, A.5 e A.6, Apêndice A). Mas apesar de ter significância estatística, esta correlação foi baixa, em concordância com a pouca influência esperada dos parâmetros ambientais no fluxo ebulitivo. A temperatura pode apresentar alguma correlação ao influenciar as taxas de produção no substrato, ou ao induzir às variações na pressão hidrostática.

5.4.3 Análise estatística para a estação de seca

Devido à grande diferença observada em alguns parâmetros ambientais entre a cheia e a seca, foi feita uma análise estatística separando os conjuntos de dados pelo tipo de fluxo (difusivo e ebulitivo) e pela estação (seca e cheia). O procedimento é o mesmo para todos os casos, sendo primeiramente feito o teste da correlação das variáveis ambientais pelo fluxo e posteriormente a ACP, com a criação do Fator Loading, a geração dos fatores que reduzem a variabilidade do sistema e a análise da correlação dos fatores obtidos com os fluxos.

O teste de correlação para o fluxo difusivo para o período seco mostrou correlação para a temperatura da água, ORP e oxigênio dissolvido (Tabela A.7, Apêndice A). Quando o Fator Loading foi gerado, as variáveis foram separadas em dois fatores. A ACP mostrou uma fraca correlação (0,39, $p = 0,04$) para o fator 2, que agrupou as temperaturas do ar e da água, pH, ORP e oxigênio dissolvido (Tabelas A.8 e A.9, Apêndice A).

A análise estatística dos parâmetros ambientais para o fluxo ebulitivo durante o período seco não apresentou correlação em nenhum dos dois testes aplicados

(Tabelas A.10, A.11 e A.12, Apêndice A), evidenciando a pequena influência dos parâmetros ambientais medidos e o fluxo ebulitivo.

5.4.4 Análise estatística para a estação de cheia

Para o fluxo difusivo durante o período da cheia, o teste de correlação apontou a correlação da temperatura do ar (-0,773), condutividade elétrica (0,591) e TSD (0,59) (Tabela A.13, Apêndice A). A análise de componentes principais mostrou correlação (0,755, $p = 0,002$) com o Fator 2, que agrupou a temperatura do ar e da água, a condutividade e TSD. (Tabelas A.14 e A.15, Apêndice A), evidenciando a influência dos parâmetros ambientais da coluna d'água no transporte difusivo de metano para a superfície.

Em relação ao fluxo ebulitivo, o teste de correlação aponta uma correlação pequena entre a temperatura da água e o fluxo (Tabela A.16, Apêndice A). A análise de componentes principais agrupou no Fator 1 as temperaturas da água e do ar, a condutividade e o TSD. No Fator 2, foi agrupado o pH e o ORP e no Fator 3 a profundidade (Tabelas A.17 e A.18, Apêndice A). Nenhum dos fatores apresentou correlação estatisticamente significativa com o fluxo ebulitivo, refletindo a baixa interação já esperada entre os parâmetros medidos e o transporte ebulitivo do metano.

As tabelas que apresentam as correlações entre os parâmetros ambientais e o tipo de transporte (difusivo e ebulitivo) e a estação (seca e cheia) são apresentadas no Apêndice A (teste de correlação - Tabela A.19 e Análise de Componentes Principais – Tabela A.20).

5.5 Metano dissolvido

Para as análises do metano dissolvido foram coletadas 55 medidas subsuperficiais, 4 no meio da coluna d'água e 39 próximas ao sedimento. O pequeno número de medidas no meio é justificado pela baixa profundidade encontrada, com uma média de apenas 0,9 m ao longo das duas campanhas, que inviabilizou o lançamento da garrafa de Van Dorn à médias profundidades.

A comparação das medidas de fluxo com o metano dissolvido foi feita utilizando os valores de fluxo difusivo coletado no mesmo ponto onde se obteve a amostra do metano dissolvido. Os pontos onde só se obtiveram fluxos ebulitivos não foram considerados.

Os valores médios de metano dissolvido observados foram de $1,3 \times 10^{-2} \pm 0,8 \times 10^{-2}$ mg/l ($n = 51$) na subsuperfície, com uma mediana de $1,1 \times 10^{-2}$ mg/l. Para o meio da coluna d'água a média foi de $1,5 \times 10^{-2} \pm 1,4 \times 10^{-2}$ mg/l ($n = 4$), com uma mediana de $1,1 \times 10^{-2}$ mg/l, enquanto que a média no fundo foi de $2,16 \times 10^{-2} \pm 2,0 \times 10^{-2}$ mg/l ($n = 39$) e uma mediana de $1,8 \times 10^{-2}$ mg/l. A Figura 5.9 apresenta o perfil do metano dissolvido e do oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água. Foram utilizados os valores médios em cada profundidade (subsuperficial, meio e fundo), podendo-se notar que a média de metano próxima ao substrato foi maior que as demais e que houve uma diminuição nos valores conforme se aproxima da superfície da coluna d'água. Esse perfil sugere que nem todo o metano produzido próximo ao substrato chega a ser transportado para a superfície. O transporte de metano através de difusão pela coluna d'água ocorre de forma gradativa, permitindo o consumo por bactérias metanotróficas existentes na água. O perfil de oxigênio dissolvido mostra que a concentração no fundo é inferior ao valor próximo à superfície. Como esperado, o ambiente com menos oxigênio próximo ao substrato favorece a produção de metano por bactérias metanogênicas, enquanto que o aumento gradativo da concentração de oxigênio ao longo da coluna d'água aumenta o consumo do metano antes que ele atinja a superfície.

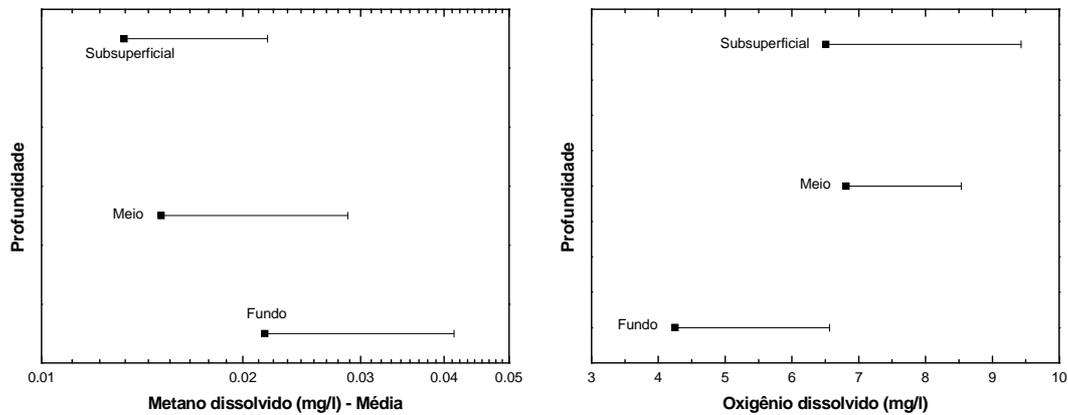


Figura 5.9 – Média do metano dissolvido (esquerda) e média do oxigênio dissolvido (direita) ao longo da coluna d'água.

Com base nos valores de metano dissolvido subsuperficiais, foi utilizado um modelo de filme estagnado (LEWIS; WHITMAN, 1924) para se obter uma estimativa da quantidade de metano liberado para a atmosfera por difusão através da superfície da área alagada.

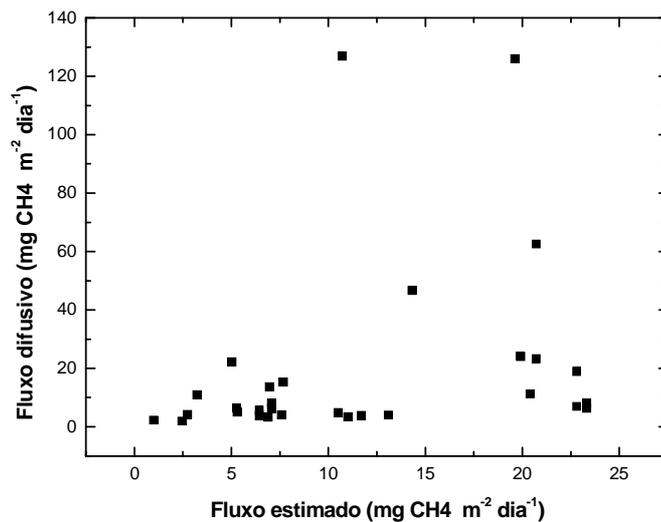


Figura 5.10 – Fluxo de metano estimado através do modelo de filme estagnado em função do fluxo difusivo.

A Figura 5.10 apresenta o gráfico do fluxo estimado através de modelagem em função do fluxo difusivo medido na superfície através do método de câmara estática. A correlação obtida foi baixa ($r^2 = 0,08$), mostrando que o modelo adotado não é o mais indicado para as condições encontradas no Pantanal, sendo necessário um estudo mais aprofundado para uma melhor estimativa da emissão de fluxo difusivo.

5.6 Comparação com outros trabalhos no Pantanal

O Laboratório de Ozônio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realiza estudos na região desde 1994, em conjunto com a Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) (ALVALÁ *et al.*, 1999). Todos os trabalhos foram realizados na vasta sub-região do Abobral, próximo à localidade do Passo do Lontra, localizada no Mato Grosso do Sul.

O primeiro estudo feito para a determinação de fluxo emitido nas áreas alagadas do Pantanal (ALVALÁ, 1995) ocorreu nos meses de abril e agosto/setembro de 1994, correspondendo à época de cheia e seca, respectivamente. O valor médio de fluxo para o mês de abril (cheia) foi de $76 \pm 110 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com valores individuais variando de 1 a $468 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Para o período de seca (agosto/setembro) o fluxo médio foi de $32 \pm 52 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, variando de 6 a $233 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Alvalá, 1995).

Nos anos de 1997 e 1998, foi realizado um novo estudo por Alvalá *et al.* (1999). O fluxo médio obtido foi de $238 \pm 238 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ com uma variação de 1 a $1389 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ($n = 61$). Nestes dois trabalhos não foi feita classificação entre fluxos ebulitivos e difusivos, o que explica o alto valor encontrado para a média

Marani (2007) mostrou que a separação entre fluxo difusivo e ebulitivo é necessária para uma melhor estimativa da emissão de metano no Pantanal. O estudo foi realizado nos anos de 2004 e 2005, apresentando emissão por

transporte difusivo na coluna d'água menor que o transporte ebulitivo, sendo a emissão por bolhas responsável por cerca de 90% do total de metano emitido. O fluxo difusivo variou de 1,0 a 145,5 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹, com um fluxo médio de 13,1 ± 20,7 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹ (n = 342) e uma mediana de 5,0 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹. O fluxo ebulitivo variou de 1,6 a 2187, com uma média de 279,5 ± 289,5 (n = 218) e mediana de 127,5 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹. O fluxo geral médio sobre todas as medidas (n = 560) foi de 116,8 ± 275,8 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹ e mediana de 11,1 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹.

Neste trabalho, realizado nos anos de 2009 e 2010, o fluxo difusivo (n = 67) apresentou média de 15,9 ± 27,9 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹ e mediana de 5,72 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹, enquanto que o fluxo ebulitivo (n = 84) teve média de 281,9 ± 424,8 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹ e mediana de 119,3 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹. O fluxo geral médio sobre todas as medidas (n = 151) foi de 163,9 ± 343,2 mgCH₄ m⁻² dia⁻¹ e mediana de 39,1. A tabela 5.3 apresenta as médias de fluxo geral, difusivo e ebulitivo nos trabalhos anteriormente citados. O trabalho de Alvalá (1995) apresentava apenas os valores de fluxo separados por estação (seca e cheia), não havendo a informação de fluxo geral médio. O valor inserido na tabela para este trabalho como fluxo geral corresponde as médias dos fluxos na seca e na cheia.

Tabela 5.3 – Médias de fluxo geral, difusivo e ebulitivo obtidos em diversos trabalhos.

Fluxo (mgCH₄ m⁻² dia⁻¹)				
	Alvalá (1995)	Alvalá (1999)	Marani (2007)	Este trabalho
<i>Ano</i>	1994	1997 - 1998	2004 - 2005	2009 - 2010
<i>Fluxo Geral</i>	32 ± 52 (seca) 76 ± 110 (cheia) (n = 87)	25 ± 28 (1997) 190 ± 237 (1998) (n = 61)	116,8 ± 275,8 (n = 560)	163,9 ± 343,2 (n = 151)
<i>Fluxo difusivo</i>	-	-	13,1 ± 20,7 (n = 342)	15,9 ± 27,9 (n = 67)
<i>Fluxo ebulitivo</i>	-	-	279,5 ± 289,5 (n = 218)	281,9 ± 424,8 (n = 84)

Considerando apenas as médias dos trabalhos citados, verifica-se que a emissão no Pantanal não apresenta uma tendência, com uma grande variabilidade nos fluxos médios anuais. Destaca-se ainda o grande intervalo entre os estudos, considerando ainda que as condições encontradas no Pantanal foram diferentes para as épocas de cheia e seca para cada ano de estudo. Seria necessário um acompanhamento contínuo das emissões, assim como um estudo mais detalhado dos fatores que as influenciam para poder entender as causas da variação observada.

A diferenciação dos fluxos pelo tipo de mecanismo de transporte ao longo da coluna d'água passou a ser feito a partir do trabalho de Marani (2007), não havendo este tipo de informação nos trabalhos feitos por Alvalá (1995, 1999). As médias de fluxo difusivo e ebulitivo encontradas neste trabalho apresentaram valores próximos às observadas por Marani (2007). Embora com diferentes variabilidades, os valores médios anuais observados mostram-se próximos, o que sugere que em média a região em estudo tem apresentado um mesmo padrão de emissão nos últimos anos.

Marani (2007) avaliou a influência dos fatores ambientais (oxigênio dissolvido, temperatura e pH da água) no fluxo de metano, não encontrando uma relação direta. Entretanto, uma análise qualitativa baseada na separação em conjuntos através da mediana de cada fator indicou que a quantidade de oxigênio dissolvido na água teve influência nos fluxos de metano. Os conjuntos considerados mais anóxicos apresentaram fluxos difusivos médios maiores. Esta informação é condizente com os resultados obtidos neste trabalho. A análise quantitativa realizada neste trabalho mostrou que a emissão de metano foi maior em ambientes com menor concentração de oxigênio dissolvido. A temperatura observada por Marani (2007) mostrou ser importante nos fluxos difusivos, enquanto que o pH não apresentou influência. Por outro lado, neste estudo, a temperatura apresentou correlação para os fluxos ebulitivos, enquanto que o pH teve grande correlação para fluxos difusivos.

6 CONCLUSÕES

As áreas alagadas apresentam grande importância nas emissões de metano para a atmosfera. O Pantanal é a maior área alagada da América do Sul, tendo grande importância no balanço atmosférico global de metano. Este trabalho avaliou a influência de variáveis ambientais que afetam a emissão de metano e a variabilidade sazonal nas emissões do Pantanal.

O fluxo de metano foi classificado de acordo com o mecanismo de transporte ao longo da coluna d'água (difusivo e ebulitivo). Os casos de transporte na forma de bolhas ($n = 84$) ocorreram em maior número que a difusão através da coluna d'água ($n = 67$). O fluxo ebulitivo médio foi de $281,9 \pm 424,8 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (mediana de $119,2 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) enquanto que a média dos fluxos difusivos foi de $15,9 \pm 27,9 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (mediana de $5,7 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). A faixa observada para fluxos difusivos foi de 1,3 a $150,8 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que para ebulitivos variou entre 1,8 e $2470 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

A época do ano mostrou influência tanto na emissão quanto no mecanismo de transporte do metano. Os fluxos analisados durante o período de seca (setembro de 2009) apresentaram 53 casos difusivos e 20 ebulitivos. Para a época de cheia (março de 2010), houve uma maior ocorrência de casos ebulitivos (64 ebulitivos e 14 difusivos). A média geral de emissão dos fluxos difusivos durante a época da cheia ($50,8 \pm 46,5 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) mostrou-se muito maior que a média difusiva para a seca ($6,6 \pm 5,5 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Os fluxos ebulitivos não apresentaram quase diferença entre as duas épocas, sendo a média para a seca de $285,5 \pm 579,4 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e para a cheia de $280,7 \pm 369,5 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. O incremento de matéria orgânica que ocorre durante a época da cheia favorece a atividade bacteriana. A produção mais intensa de metano induz a formação de bolhas no substrato, aumentando a emissão na forma ebulitiva.

O estudo dos parâmetros ambientais mostrou que estes têm influência na emissão de metano. Alguns parâmetros analisados apresentaram um

comportamento bem diferenciado para cada época, como o caso do pH e potencial de oxirredução. A coluna d'água na época da cheia apresentou caráter acidificado e fortemente reduzido enquanto que durante a seca o meio encontrava-se alcalino e mais fracamente reduzido. A condutividade elétrica e o total de sólidos dissolvidos apresentaram mais relação com os parâmetros da área alagada onde foram analisados do que propriamente com o fluxo de metano.

A utilização de testes estatísticos foi empregada para verificar a influência dos parâmetros ambientais na emissão de metano. O teste de correlação e a Análise de Componentes Principais (ACP) evidenciaram a correlação do pH, oxigênio dissolvido e potencial de oxirredução para fluxos difusivos, enquanto que a temperatura da água e do ar mostrou correlação, apesar de baixa, para o fluxo ebulitivo. Além disso, a ACP mostrou a existência de grande correlação entre os parâmetros ambientais a qual necessita ser melhor estudada para compreender como variações nestes parâmetros podem influenciar a emissão de metano.

Os resultados obtidos pelo Teste de Correlação e ACP juntamente com a informação do perfil de metano dissolvido mostram que o fluxo difusivo geral sofre influência de parâmetros ambientais (pH, ORP e oxigênio dissolvido) fazendo que o metano seja consumido ao longo da coluna d'água. Para o período de seca, o fluxo difusivo apresentou uma fraca correlação com os parâmetros ambientais (temperatura da água e do ar, pH, ORP e oxigênio dissolvido), enquanto que para a cheia, o fluxo difusivo apresentou correlação com a temperatura do ar e da água, condutividade elétrica e total de sólidos dissolvidos, indicando que o incremento de matéria orgânica tem influência no fluxo difusivo de metano no período da cheia.

O fluxo ebulitivo geral mostrou correlação com a temperatura da água e do ar no Teste de Correlação e ACP, mostrando a variação sazonal da temperatura. O estudo feito considerando a época (seca e cheia) não apresentou correlação

significativa devido à rápida passagem da bolha pela coluna d'água, mostrando a pouca influência do meio no fluxo ebulitivo.

O fluxo de metano estimado por um modelo de filme estagnado a partir das concentrações de metano dissolvido apresentou baixa correlação com o fluxo difusivo ($r^2 = 0,08$), mostrando que o modelo utilizado não é o mais indicado para as condições do Pantanal devido à sua simplicidade, e que condições ambientais como turbulência na superfície induzida pelo vento devem ser consideradas para se obter melhores estimativas para o fluxo difusivo a partir do metano dissolvido. Trabalhos anteriores que utilizaram esse modelo para estimar o metano emitido não fizeram comparações com o metano medido, fazendo uma superestimação de emissão das áreas alagadas.

A comparação deste trabalho com trabalhos anteriores realizados no Pantanal mostraram que existe uma grande variabilidade entre os estudos. Porém, a comparação entre trabalhos que utilizaram a mesma metodologia mostraram semelhança nos valores encontrados para fluxo geral, fluxo difusivo e ebulitivo, sendo ainda possível constatar a variação sazonal da emissão de metano no Pantanal.

Sugestões de trabalhos futuros:

O estudo dos parâmetros ambientais mostrou a necessidade de um melhor entendimento de como as variáveis interagem entre si, diminuindo as incertezas sobre a influência dos parâmetros desde a produção no substrato, seu transporte na coluna d'água, até a emissão pela superfície da água.

Um estudo detalhado das condições do substrato onde o metano é sintetizado possibilitaria um melhor entendimento de como cada variável ambiental influencia diretamente a produção ou o transporte ao longo da coluna d'água.

A grande variabilidade encontrada nas médias revela a necessidade de uma contínua avaliação dos fluxos de metano na região do Pantanal para melhor compreender os vários fatores que influenciam as emissões de metano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; BALBINOT JR, A.A., Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 32, n. 6, p. 1073-1081, 2002

ALVALÁ, P.C. **Observações do metano atmosférico no Brasil**. 1995. 126 p. (INPE-5969-TDI/573). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 1995.

ALVALÁ, P.C.; KIRCHHOFF, W.V.J.H.; PAVÃO, H.G., Metano na Atmosfera. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Uberlândia/MG, v. 7, p. 40 - 43, 02 fev. 1999.

ALVALÁ, P.C.; KIRCHHOFF, W.V.J.H., Methane fluxes from the Pantanal floodplain in Brazil: seasonal variation. In: van Ham *et al.* (Eds.) **Non-CO₂ Greenhouse gases: scientific understanding, control and implementation**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 95-99, 2000.

ALVALÁ, P.C.; MARANI, L., Environmental parameters influencing the methane emissions in the Pantanal floodplain, Brazil. **Climate Change and Crops** (ed.S.N. Singh). New York: Springer, p. 133-146, 2009.

BAMBACE, L.A.W.; RAMOS, F.M.; LIMA, I.B.T.; ROSA, R.R., Mitigation and recovery of methane emissions from tropical hydroelectric dams. **Energy**, v. 32, p. 1038-1046, 2007.

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.

BARTLETT, K.B.; CRILL, P.M.; BONASSI, J.A.; RICHEY, J.E.; HARRISS, R.C., Methane flux from the Amazon River floodplain: Emissions during rising water. **J. Geophys. Res.**, v. 95, n. D10, p. 16,773-16,788, 1990.

BARTLETT, K.B.; HARRISS, R.C., Review and assessment of methane emissions from wetlands. **Chemosphere**, v. 26, p. 1-4, 1993.

BASTVIKEN, D.; COLE, J.; PACE, M.; TRANVIK, L., Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and global estimate. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 18, 2004.

BUTENHOFF, C.L.; KHALIL, M.A.K., Global methane emissions from terrestrial plants. **Environ. Sci. Technol.**, v. 41, p. 4032-4037, 2007.

CHIN, K.; LUKOW, T.; CONRAD, R., Effect of temperature on structure and function of the methanogenic archaeal community in an anoxic rice field soil. **Appl Environ Microbiol**, n. 65, p. 2341-2349, 1999.

CICERONE, R.J.; OREMLAND, R.S., Biogeochemical aspects of atmospheric methane. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 2, p. 299-327, 1988.

CIOLA, R., Fundamentos da cromatografia a gás. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1985.

CorumbaOnLine – **Pico de cheia no Rio Paraguai**. Disponível em:

<http://www.corumbaonline.com.br/nautica.asp?offset=20> Acesso em: 23/04/2010

CRILL, P.M.; BARTLETT, K.B.; WILSON, J.O.; SEBACHER, D.I.; HARRISS, R.C.; MELACK, J.M.; MACINTYRE, S.; LESACK, L.; SMITH-MORRILL, L., Tropospheric methane from a Amazonian floodplain lake. **J. Geophys. Res.**, v. 93, n. D2, p. 1564-1570, 1988.

CRUTZEN, P.J.; ZIMMERMANN, P.H., The changing photochemistry of the troposphere. **Tellus**, v. 43, p. 136-150, 1991.

DALAL, R.C.; ALLEN, D.E., Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems. **Australian Journal of Botany**, v. 56, p. 369-407, 2008.

DALAL, R.C.; ALLEN, D.E.; LIVESLEY, S.J.; RICHARDS, G., Magnitude and biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian

agricultural, forest, and submerged landscapes: a review. **Plant Soil**, n. 309, p. 43-76, 2008.

DEVOL, A.H.; RICHEY, J.E.; CLARK, W.A.; KING, S.L.; MARTINELLI, L.A., Methane emissions to the troposphere from the Amazon floodplain. **J. Geophys. Res.**, v. 93, n. D2, p. 1583-1592, 1988.

DICKINSON, R.E.; CICERONE, R.J., Future global warming from atmospheric trace gases. **Nature**, v. 319, p. 109-115, 1986.

DONNER, L.; RAMANATHAN, V., Methane and nitrous oxide: their effects on the terrestrial climate. **J. Atmos. Sci.**, v. 37, p. 119-124, 1980.

DUFOUR, J.; SERRANO, D.P.; GÁLVEZ, J.L.; MORENO, J.; GARCÍA, C., Life cycle assessment of processes for hydrogen production. Environmental feasibility and reduction of greenhouse gases emissions. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, p. 1370-1376, 2009.

EHHALT, D.H.; SCHMIDT, U., Sources and sinks of atmospheric methane. **Pure and Applied Geophys.**, v. 116, p. 452-464, 1978.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cheia e seca no Pantanal**, 2006. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/destaques/cheia.htm>, Acesso em: 1/05/2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Régua de Ladário é principal referencial de seca ou cheia no Pantanal**, 2009. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/destaques/noticias/referencia.htm>, Acesso em: 01/05/2010.

FEST, B.J.; LIVESLEY, S.J.; DRÖSLER, M.; VAN GORSEL, E.; ARNDT, S.K., Soil-atmosphere greenhouse gas exchange in a cool, temperate *Eucalyptus delegatensis* forest in south-eastern Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 393-406, 2009.

GHUDE, S.D.; JAIN, S.L.; ARYA, B.C., Temporal evolution of measured climate forcing agents at South Pole, Antarctica. **Current Science**, v. 96, n. 1, p. 49-57, 2009.

HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J.; MELACK, J.M., Oxygen depletion and carbon dioxide and methane production in waters of Pantanal wetland of Brazil. **Biogeochemistry**, v.30, p. 115-141, 1995.

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, 10.1029/2000JD000306, 2002.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). The science of climate change. In: (Houghton, J.T. Meira Filho, L.G. Callander, B.A. Harris, N. Kattenburg, A. Maskell, K. (eds.). **Climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

KELLER, M.; STALLARD, R.F., Methane emission by bubbling from Gatun Lake, Panama. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, p. 8307-8319, 1994.

KEPPLER, F.; HAMILTON, J.T.G.; BRAB, M.; RÖCKMANN, T., Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. **Nature**, v. 439, p. 187-191, 2006.

KHALIL, M.A.K.; RASMUSSEN, R.A.; SHEARER, M.; DALLUGE, R.; REN, L.; DUAN, C.L., Factors affecting methane emissions from rice fields. **J. Geophys. Res.**, v. 103, n. D19, p. 25219-25231, 1998.

KHALIL, M.A.K.; RASMUSSEN, R.A., Changes in the regional emissions of Greenhouse Gases and Ozone-depleting compounds. **Environmental Science & Technology**, v. 38, n. 2, p. 364-366, 2004

KIRSCHBAUM, M.U.F.; BRUHN, D.; ETHERIDGE, D.M.; EVANS, J.R.; FARQUHAR, G.D.; GIFFORD, R.M.; PAUL, K.I.; WINTERS, A.J., A comment on the quantitative significance of aerobic methane release by plants. **Functional Plant Biology**, v. 33, p. 521-530, 2006.

LANGMUIR, D., **Aqueous environmental geochemistry**. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1997.

LEHNER, B.; DÖLL, P., Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. **Journal of Hydrology**, v. 296, n. 1-4, p. 1-22, 2004.

LEFOHN, A.S., **Surface-level ozone exposures and their effects on vegetation**. Chelsea: Lewis Publishers, Inc, 1992.

LEVINE, J.S.; COFER III, W.R.; PINTO, J.P., Biomass burning. In: Khalil, M. (Ed.) **Atmospheric methane: its role in role in the global environment**. New York, NY: Springer-Verlag, p. 190-201, 2000.

LEWIS, W.; WHITMAN, W., Principles of gas absorption. **Industrial and Engineering Chemistry**, vol. 16, n. 12, p1215-1220, 1924.

LIMA, I.B.T., Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs. **Chemosphere**, v. 59, p. 1697-1702, 2005.

MACDONALD, J.A.; EGGLETON, P.; BIGNELL, D.E.; FORZI, F.; FOWLER, D., Methane emission by termites and oxidation by soils, across a forest disturbance gradient in the Mbalmayo Forest Reserve, Cameroon. **Global Change Biology**. v. 4, p. 409-418. 1998,

MAGALHÃES, N. W., **Conheça o Pantanal**. São Paulo: Terragraph, 390p., 1992.

MARANI, L. **Estudo da emissão de metano no Pantanal Sul Matogrossense**. 2007. 108 p. (INPE-14776-TDI/1229). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/04.23.12.15>>. Acesso em: 12 ago. 2009.

MARANI, L.; ALVALÁ, P.C., Methane emissions from lakes and floodplains in Pantanal, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 8, p. 1627-1633, 2007.

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 Biol.**, v. 10, p. 530-544, 2004

MUKHIN, V.A.; VORONIN, P.Y., Methanogenic activity of wood debris. **Russian Journal of Ecology**, v. 40, n. 3, p. 149-153, 2009.

NGWABIE, N.M.; JEPSSON, K.H.; NIMMERMARK, S.; SWENSSON, C.; GUSTAFSSON, G., Multi-location measurements of greenhouse gases and emission rates of methane and ammonia from a naturally-ventilated barn for dairy cows. **Biosystems Engineering**, v. 103, p. 68-77, 2009.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC (NOAA). **Methane measurements**. 2009. Disponível em:

ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/figures/ch4_tr_global.png. Acesso em: 26 jul. 2010.

PACHECO DO AMARAL FILHO, Z., Solos do Pantanal Mato-grossense. In: Ed. Boock, Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal, 1., 1986. Corumbá, **Anais...** Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1986. p. 91-103, Documento 5.

POR, F.D., **The Pantanal of Mato Grosso (Brazil)**. Dordrecht: K. A. Publishers, 122p., 1995.

RAMANATHAN, V.; CICERONE, R.J.; SING, H.B.; KIEHL, J.T., Trace gas trend and their potential role in climate change. **J. Geophys. Res.**, v. 90, p. 5547-5566, 1985.

RAMOS, F.M.; LIMA, I.B.T.; ROSA, R.R.; MAZZI, E.A.; CARVALHO, J.C.C.; RASERA, M.F.F.L.; OMETTO, J.P.H.B.; ASSIREU, A.T.; STECH, J.L., Extreme event dynamics in methane ebullition fluxes from tropical reservoirs. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L21404, doi: 10.1029/2006GL027943, 2006.

RAMOS, F.M.; BAMBACE, L.A.W.; LIMA, I.B.T.; ROSA, R.R.; MAZZI, E.A.; FEARNESIDE, P.M., Methane stocks in tropical hydropower reservoirs as a potential energy source. **Climatic Change**, v. 93, p. 1-13, 2009.

RAO, V.B.; CAVALCANTI, I.F.A.; HADA, K., Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **J. Geophys. Res.**, v. 101, n. D21, p. 26539-26551, Nov. 1996.

RASK, H.; SCHOENAU, J.; ANDERSON, D., Factors influencing methane flux from a boreal forest wetland in Saskatchewan, Canada. **Soil Biol Biochem**, v. 34, p. 435-443, 2002.

RAVISHANKARA, A.R., Kinetics of radical reactions in the atmospheric oxidation of CH₄. **Ann. Rev. Phys. Chem.**, v. 39, p. 367-394, 1988.

RICHEY, J.E.; MELACK, J.M.; AUFDENKAMPE, A.K.; BALLESTER, V.M.; HESS, L.L., Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric carbon dioxide. **Nature**, v. 416, p. 617-620, 2002.

ROSLEV, P.; KING, G.M., Regulation of methane oxidation in a freshwater wetland by water table changes and anoxia. **FEMS Microbiol Ecol**, v. 19, p. 105-115, 1996.

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.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N., **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998.

SIMPSON, I.J.; ROWLAND, F.S.; MEINARDI, S.; BLAKE, D.R., Influence of biomass burning during recent fluctuations in the slow growth of global tropospheric methane. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L22808, p. 1-5, 2006.

SMITH, L.K.; LEWIS, JR. W.M.; CHANTON, J.P.; CRONIN, G.; HAMILTON, S.K., Methane emission from the Orinoco River floodplain, Venezuela. **Biogeochemistry**, v. 51, n. 2, p. 113-140, Nov. 2000.

STADMARK, J.; SEIFERT, A.G.; LEONARDSON, L., Transforming meadows into free surface water wetlands: Impact of increased nitrate and carbon loading on greenhouse gas production. **Atmospheric Environment**, v. 43, p. 1182-1188, 2009.

TEIXEIRA, C.E.; TORVES, J.C.; FINOTTI, A.R.; FEDRIZZI, F.; MARINHO, F.A.M.; TEIXEIRA, P.F., Estudos sobre a oxidação aeróbica do metano na cobertura de três aterros sanitários no Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 14, n. 1, p. 99-103, 2009.

THIELE, J.H.; ZEIKUS, J.G., Control of interspecies electron flow during anaerobic-digestion – Significance of formate transfer versus hydrogen transfer during syntrophic methanogenesis in flocs. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 54, p. 20-29, 1988.

THOMPSON, A.M., The oxidizing capacity of the earth's atmosphere: probable past and future changes. **Science**, v. 256, p. 1157-1165, 1992.

WALTER, B.P.; HEIMANN, M.; MATTHEWS, E., Modeling modern methane emissions from natural wetlands 2. Interannual variations 1982-1993. **J. Geophys. Res.**, v. 106, p. 34207-34219, 2001.

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**, Madison, v. 57, n. 2, p. 382-385, 1993.

WILKS, D.S., **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego: Academic Press, p. 627, 2006. International Geophysics Series.

WISE, D.; HOUGHTON, G., The diffusion coefficients of ten slightly soluble in water at 10-60°C. **Chemical Engineering Science**, v. 21, p. 999-1010, 1966.

WU, J.C.S., Photocatalytic reduction of Greenhouse Gas CO₂ to fuel. **Catalysis Surveys from Asia**, v. 13, n. 1, p. 30-40, 2009.

WUEBBLES, D.J.; HAYHOE, K., Atmospheric methane and global change. **Earth-Science Reviews**, v. 57, p. 177-210, 2002.

XIE, M.; LI, S.; JIANG, F.; WANG, T., Methane emissions from terrestrial plants over China and their effects on methane concentrations in lower troposphere. **Chinese Science Bulletin**, v. 54, n. 2, p. 304-310, 2009.

YANG, S.S.; CHANG, H.L., Effect of environmental conditions on methane production and emission from paddy soil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 69, n. 1, p. 69-80, 1998.

APÊNDICE A - TABELAS

Tabela A.1 - Correlação entre variáveis ambientais e fluxo difusivo.

FACTOR ANALYSIS	PROF	T_AR	T_AGUA	PH	ORP	CONDUT	OD	TSD	FLUXO
PROF	---	-.308856 p=.0118	-.433072 p=.0003	-.103640 p=.4043	.026329 p=.8336	.556489 p=.0006	-.146165 p=.2386	.554523 p=.0004	-.031459 p=.8001
T_AR	-.308856 p=.0118	---	.815531 p=0.000	-.189570 p=.1249	.225999 p=.0665	-.467952 p=.0007	.328730 p=.0078	-.470922 p=.0000	.112203 p=.3662
T_AGUA	-.433072 p=.0003	.815531 p=0.000	---	-.249805 p=.0419	.245842 p=.0455	-.632389 p=.0002	.274491 p=.0254	-.635217 p=.0005	.199372 p=.1069
PH	-.103640 p=.4043	-.189570 p=.1249	-.249805 p=.0419	---	-.971803 p=0.000	.188504 p=.1278	.660610 p=.0000	.188907 p=.1268	-.581256 p=.0001
ORP	.026329 p=.8336	.225999 p=.0665	.245842 p=.0455	-.971803 p=0.000	---	-.217425 p=.0777	-.639706 p=.0009	-.217965 p=.0767	.604892 p=.0004
CONDUT	.556489 p=.0006	-.467952 p=.0007	-.632389 p=.0002	.188504 p=.1278	-.217425 p=.0777	---	.023763 p=.8493	.999925 p=0.000	.008821 p=.9448
OD	-.146165 p=.2386	.328730 p=.0078	.274491 p=.0254	.660610 p=.0000	-.639706 p=.0009	.023763 p=.8493	---	.021995 p=.8601	-.274163 p=.0254
TSD	.554523 p=.0004	-.470922 p=.0000	-.635217 p=.0005	.188907 p=.1268	-.217965 p=.0767	.999925 p=0.000	.021995 p=.8601	---	.006535 p=.9586
FLUXO	-.031459 p=.8001	.112203 p=.3662	.199372 p=.1069	-.581256 p=.0001	.604892 p=.0004	.008821 p=.9448	-.274163 p=.0254	.006535 p=.9586	---

Tabela A.2 – Fator Loading para fluxo difusivo

Variable	Extraction: Principal components (Marked loadings are > .700000)		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
PROF	.778494	-.165999	-.113148
T_AR	-.241744	-.054984	.917418
T_AGUA	-.450228	-.097470	.830662
PH	.002633	.968122	-.180936
ORP	-.048619	-.954841	.187714
CONDUT	.910110	.152550	-.272272
OD	.053101	.812657	.484573
TSD	.908457	.152593	-.276179
Expl. Var	2.525984	2.596027	1.997648
Prp. Totl	.315748	.324503	.249706

Tabela A.3 – Análise de Componentes Principais para fluxo difusivo.

BASIC STATS		Marked correlations are significant at p < ,05000 N=67 (Casewise deletion of missing data)			
Variable	VAR1	VAR2	VAR3	FLUXO	
VAR1	1,0000	-,0000	-,0000	,0774	
	p= ---	p=1,00	p=1,00	p=,534	
VAR2	-,0000	1,0000	,0000	-,5300	
	p=1,00	p= ---	p=1,00	p=,000	
VAR3	-,0000	,0000	1,0000	,1806	
	p=1,00	p=1,00	p= ---	p=,143	
FLUXO	,0774	-,5300	,1806	1,0000	
	p=,534	p=,000	p=,143	p= ---	

Tabela A.4 - Correlação entre variáveis ambientais e fluxo ebulitivo.

Correlations (new_2.sta)									
Continue... Marked correlations are significant at p < ,05000 N=82 (Casewise deletion of missing data)									
Variable	PROF	T_AR	T_AGUA	PH	ORP	CONDUT	OD	TSD	FLUXO
PROF	1,0000	,0316	-,1563	-,4336	,2549	-,3139	-,3918	-,3180	-,1734
	p= ---	p=,778	p=,161	p=,000	p=,021	p=,004	p=,000	p=,004	p=,119
T_AR	,0316	1,0000	,8763	-,1138	,0558	-,2011	,0797	-,1997	,2355
	p=,778	p= ---	p=,000	p=,309	p=,618	p=,070	p=,476	p=,072	p=,033
T_AGUA	-,1563	,8763	1,0000	,0072	-,0536	-,0229	,2161	-,0223	,3150
	p=,161	p=,000	p= ---	p=,949	p=,632	p=,838	p=,051	p=,842	p=,004
PH	-,4336	-,1138	,0072	1,0000	-,9476	,2743	,5321	,2746	,0079
	p=,000	p=,309	p=,949	p= ---	p=0,00	p=,013	p=,000	p=,013	p=,944
ORP	,2549	,0558	-,0536	-,9476	1,0000	-,2093	-,4409	-,2032	-,0080
	p=,021	p=,618	p=,632	p=0,00	p= ---	p=,059	p=,000	p=,067	p=,943
CONDUT	-,3139	-,2011	-,0229	,2743	-,2093	1,0000	,1706	,9987	-,0435
	p=,004	p=,070	p=,838	p=,013	p=,059	p= ---	p=,126	p=0,00	p=,698
OD	-,3918	,0797	,2161	,5321	-,4409	,1706	1,0000	,1856	,1081
	p=,000	p=,476	p=,051	p=,000	p=,000	p=,126	p= ---	p=,095	p=,334
TSD	-,3180	-,1997	-,0223	,2746	-,2032	,9987	,1856	1,0000	-,0477
	p=,004	p=,072	p=,842	p=,013	p=,067	p=0,00	p=,095	p= ---	p=,670
FLUXO	-,1734	,2355	,3150	,0079	-,0080	-,0435	,1081	-,0477	1,0000
	p=,119	p=,033	p=,004	p=,944	p=,943	p=,698	p=,334	p=,670	p= ---

Tabela A.5 – Fator Loading para fluxo ebulitivo

Extraction: Principal components (Marked loadings are > ,700000)			
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
PROF	-,491373	-,133759	-,383829
T_AR	-,034914	,950042	-,148675
T_AGUA	,099531	,966651	,035418
PH	,953536	-,108326	,124560
ORP	-,909798	,079742	-,035186
CONDUT	,130128	-,079615	,975913
OD	,703860	,202495	,118925
TSD	,132673	-,076529	,976788
Expl. Var	2,519491	1,926177	2,108100
Prp. Totl	,314936	,240772	,263513

Tabela A.6 – Análise de Componentes Principais para fluxo ebulitivo.

Marked correlations are significant at p < ,05000 N=82 (Casewise deletion of missing data)				
Variable	VAR1	VAR2	VAR3	FLUXO
VAR1	1,0000	,0000	,0000	,0680
	p= ---	p=1,00	p=1,00	p=,544
VAR2	,0000	1,0000	-,0000	,2970
	p=1,00	p= ---	p=1,00	p=,007
VAR3	,0000	-,0000	1,0000	-,0093
	p=1,00	p=1,00	p= ---	p=,934
FLUXO	,0680	,2970	-,0093	1,0000
	p=,544	p=,007	p=,934	p= ---

Tabela A.7 - Separação por estação: Correlação entre variáveis ambientais e fluxo difusivo, época da seca (setembro, 2009).

Continued... Marked correlations are significant at $p < .05000$ N=53 (Casewise deletion of missing data)									
Variable	PROF	T_AR	T_AGUA	PH	ORP	CONDUT	OD	TSD	FLUXO
PROF	1,0000	-,3556	-,5024	-,5325	,2390	,6407	-,3082	,6374	,2122
	p= ---	p=,009	p=,000	p=,000	p=,085	p=,000	p=,025	p=,000	p=,127
T_AR	-,3556	1,0000	,7889	,5628	-,3260	-,4315	,7673	-,4347	-,2394
	p=,009	p= ---	p=,000	p=,000	p=,017	p=,001	p=,000	p=,001	p=,084
T_AGUA	-,5024	,7889	1,0000	,6952	-,5747	-,6428	,7793	-,6454	-,2890
	p=,000	p=,000	p= ---	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,036
PH	-,5325	,5628	,6952	1,0000	-,7307	-,3508	,5685	-,3512	-,1939
	p=,000	p=,000	p=,000	p= ---	p=,000	p=,010	p=,000	p=,010	p=,164
ORP	,2390	-,3260	-,5747	-,7307	1,0000	,1062	-,4681	,1064	,3694
	p=,085	p=,017	p=,000	p=,000	p= ---	p=,449	p=,000	p=,448	p=,006
CONDUT	,6407	-,4315	-,6428	-,3508	,1062	1,0000	-,2584	,9999	-,0927
	p=,000	p=,001	p=,000	p=,010	p=,449	p= ---	p=,062	p=0,00	p=,509
OD	-,3082	,7673	,7793	,5685	-,4681	-,2584	1,0000	-,2606	-,3039
	p=,025	p=,000	p=,000	p=,000	p=,000	p=,062	p= ---	p=,060	p=,027
TSD	,6374	-,4347	-,6454	-,3512	,1064	,9999	-,2606	1,0000	-,0966
	p=,000	p=,001	p=,000	p=,010	p=,448	p=0,00	p=,060	p= ---	p=,491
FLUXO	,2122	-,2394	-,2890	-,1939	,3694	-,0927	-,3039	-,0966	1,0000
	p=,127	p=,084	p=,036	p=,164	p=,006	p=,509	p=,027	p=,491	p= ---

Tabela A.8 - Separação por estação: Fator Loading para fluxo difusivo, época da seca (setembro, 2009).

Extraction: Principal components (Marked loadings are $> .700000$)		
Variable	Factor 1	Factor 2
PROF	,283125	-,725949
T_AR	-,724579	,371935
T_AGUA	-,780957	,539270
PH	-,823195	,259179
ORP	,810827	,055729
CONDUT	,132031	-,969935
OD	-,839403	,168111
TSD	,134175	-,969096
Expl. Var	3,290190	2,934610
Frp. Totl	,411274	,366826

Figura A.9 - Separação por estação: Análise de Componentes Principais para fluxo difusivo, época da seca (setembro, 2009).

Continue... Marked correlations are significant at p < ,05000 N=53 (Casewise deletion of missing data)			
Variable	VAR1	VAR2	FLUXO
VAR1	1,0000	,0000	,3908
	p= ----	p=1,00	p=,004
VAR2	,0000	1,0000	,0940
	p=1,00	p= ----	p=,503
FLUXO	,3908	,0940	1,0000
	p=,004	p=,503	p= ----

Tabela A.10 - Separação por estação: Correlação entre variáveis ambientais e fluxo ebulitivo, época da seca (setembro, 2009).

Continue... Marked correlations are significant at p < ,05000 N=18 (Casewise deletion of missing data)									
Variable	PROF	T_AR	T_AGUA	PH	ORP	CONDUT	OD	TSD	FLUXO
PROF	1,0000	-,6427	-,7150	-,8410	,6597	-,1908	-,7022	-,1896	-,2269
	p= ----	p=,004	p=,001	p=,000	p=,003	p=,448	p=,001	p=,451	p=,365
T_AR	-,6427	1,0000	,9701	,8069	-,7265	,5080	,9689	,5093	,3943
	p=,004	p= ----	p=,000	p=,000	p=,001	p=,031	p=,000	p=,031	p=,105
T_AGUA	-,7150	,9701	1,0000	,9120	-,8376	,5599	,9547	,5593	,3726
	p=,001	p=,000	p= ----	p=,000	p=,000	p=,016	p=,000	p=,016	p=,128
PH	-,8410	,8069	,9120	1,0000	-,8851	,5715	,8180	,5684	,2885
	p=,000	p=,000	p=,000	p= ----	p=,000	p=,013	p=,000	p=,014	p=,246
ORP	,6597	-,7265	-,8376	-,8851	1,0000	-,6803	-,7319	-,6774	-,3129
	p=,003	p=,001	p=,000	p=,000	p= ----	p=,002	p=,001	p=,002	p=,206
CONDUT	-,1908	,5080	,5599	,5715	-,6803	1,0000	,4406	,9998	,2820
	p=,448	p=,031	p=,016	p=,013	p=,002	p= ----	p=,067	p=,000	p=,257
OD	-,7022	,9689	,9547	,8180	-,7319	,4406	1,0000	,4401	,3532
	p=,001	p=,000	p=,000	p=,000	p=,001	p=,067	p= ----	p=,068	p=,151
TSD	-,1896	,5093	,5593	,5684	-,6774	,9998	,4401	1,0000	,2881
	p=,451	p=,031	p=,016	p=,014	p=,002	p=,000	p=,068	p= ----	p=,246
FLUXO	-,2269	,3943	,3726	,2885	-,3129	,2820	,3532	,2881	1,0000
	p=,365	p=,105	p=,128	p=,246	p=,206	p=,257	p=,151	p=,246	p= ----

Tabela A.11 - Separação por estação: Fator Loading para fluxo ebulitivo, época da seca (setembro, 2009).

FACTOR ANALYSIS		
Extraction: Principal components (Marked loadings are > ,700000)		
Variable	Factor 1	Factor 2
PROF	-,896488	,038072
T_AR	,869323	,334525
T_AGUA	,901741	,383920
PH	,875357	,386058
ORP	-,723714	-,559971
CONDUT	,219493	,970489
OD	,910218	,253004
TSD	,218282	,970393
Expl. Var	4,586883	2,670881
Prp. Totl	,573360	,333860

Tabela A.12 - Separação por estação: Análise de Componentes Principais para fluxo ebulitivo, época da seca (setembro, 2009).

<u>Continue...</u>			
Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=18 (Casewise deletion of missing data)			
Variable	VAR1	VAR2	FLUXO
VAR1	1,0000	-,0000	,2953
	p= ---	p=1,00	p=,234
VAR2	-,0000	1,0000	,2263
	p=1,00	p= ---	p=,366
FLUXO	,2953	,2263	1,0000
	p=,234	p=,366	p= ---

Tabela A.13 - Separação por estação: Correlação entre variáveis ambientais e fluxo difusivo, época da cheia (março, 2010).

Continue...		Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=14 (Casewise deletion of missing data)								
Variable	PROF	T_AR	T_AGUA	PH	ORP	CONDUT	OD	TSD	FLUXO	
PROF	1,0000	-,0102	-,3285	,0686	-,2070	,1998	,3505	,2033	-,1770	
	p= ---	p=,972	p=,251	p=,816	p=,478	p=,493	p=,219	p=,486	p=,545	
T_AR	-,0102	1,0000	,6885	,1100	-,1975	-,5754	-,2406	-,5745	-,7735	
	p=,972	p= ---	p=,006	p=,708	p=,499	p=,031	p=,407	p=,032	p=,001	
T_AGUA	-,3285	,6885	1,0000	,3867	-,4568	-,4242	,1202	-,4279	-,4394	
	p=,251	p=,006	p= ---	p=,172	p=,101	p=,131	p=,682	p=,127	p=,116	
PH	,0686	,1100	,3867	1,0000	-,9088	,5518	,4884	,5511	,2045	
	p=,816	p=,708	p=,172	p= ---	p=,000	p=,041	p=,076	p=,041	p=,483	
ORP	-,2070	-,1975	-,4568	-,9088	1,0000	-,3007	-,3955	-,3002	-,0544	
	p=,478	p=,499	p=,101	p=,000	p= ---	p=,296	p=,162	p=,297	p=,853	
CONDUT	,1998	-,5754	-,4242	,5518	-,3007	1,0000	,4472	1,0000	,5915	
	p=,493	p=,031	p=,131	p=,041	p=,296	p= ---	p=,109	p=,000	p=,026	
OD	,3505	-,2406	,1202	,4884	-,3955	,4472	1,0000	,4445	,4047	
	p=,219	p=,407	p=,682	p=,076	p=,162	p=,109	p= ---	p=,111	p=,151	
TSD	,2033	-,5745	-,4279	,5511	-,3002	1,0000	,4445	1,0000	,5900	
	p=,486	p=,032	p=,127	p=,041	p=,297	p=,000	p=,111	p= ---	p=,026	
FLUXO	-,1770	-,7735	-,4394	,2045	-,0544	,5915	,4047	,5900	1,0000	
	p=,545	p=,001	p=,116	p=,483	p=,853	p=,026	p=,151	p=,026	p= ---	

Tabela A.14 - Separação por estação: Fator Loading para fluxo difusivo, época da cheia (março, 2010).

Continue...		Extraction: Principal components (Marked loadings are $> ,700000$)		
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	
PROF	,066067	,062904	,978490	
T_AR	,205612	-,870683	,003301	
T_AGUA	,545818	-,719844	-,305660	
PH	,973417	,143710	-,023166	
ORP	-,915519	,083355	-,120577	
CONDUT	,431766	,867961	,097141	
OD	,564117	,267106	,419351	
TSD	,429889	,868100	,100145	
Expl. Var	2,819729	2,886122	1,261278	
Prp. Totl	,352466	,360765	,157660	

Tabela A.15 - Separação por estação: Análise de Componentes Principais para fluxo difusivo, época da cheia (março, 2010).

Continue... Marked correlations are significant at $p < .05000$ N=14 (Casewise deletion of missing data)				
Variable	VAR1	VAR2	VAR3	FLUXO
VAR1	1,0000	-,0000	,0000	,1161
	p= ---	p=1,00	p=1,00	p=,693
VAR2	-,0000	1,0000	-,0000	,7553
	p=1,00	p= ---	p=1,00	p=,002
VAR3	,0000	-,0000	1,0000	-,1613
	p=1,00	p=1,00	p= ---	p=,582
FLUXO	,1161	,7553	-,1613	1,0000
	p=,693	p=,002	p=,582	p= ---

Tabela A.16 - Separação por estação: Correlação entre variáveis ambientais e fluxo ebulitivo, época da cheia (março, 2010).

Continue... Marked correlations are significant at $p < .05000$ N=64 (Casewise deletion of missing data)									
Variable	PROF	T_AR	T_AGUA	PH	ORP	CONDUT	OD	TSD	FLUXO
PROF	1,0000	,2120	-,0455	-,2194	-,1496	-,3573	-,1338	-,3601	-,2026
	p= ---	p=,093	p=,721	p=,081	p=,238	p=,004	p=,292	p=,003	p=,108
T_AR	,2120	1,0000	,6837	-,0141	-,0670	-,5928	-,3729	-,5884	,0785
	p=,093	p= ---	p=,000	p=,912	p=,599	p=,000	p=,002	p=,000	p=,538
T_AGUA	-,0455	,6837	1,0000	,2721	-,2652	-,4668	-,2826	-,4621	,2998
	p=,721	p=,000	p= ---	p=,030	p=,034	p=,000	p=,024	p=,000	p=,016
PH	-,2194	-,0141	,2721	1,0000	-,8292	,5813	-,1404	,5718	,0244
	p=,081	p=,912	p=,030	p= ---	p=,000	p=,000	p=,269	p=,000	p=,848
ORP	-,1496	-,0670	-,2652	-,8292	1,0000	-,3330	,3141	-,3132	,0127
	p=,238	p=,599	p=,034	p=,000	p= ---	p=,007	p=,011	p=,012	p=,921
CONDUT	-,3573	-,5928	-,4668	,5813	-,3330	1,0000	,1690	,9986	-,1438
	p=,004	p=,000	p=,000	p=,000	p=,007	p= ---	p=,182	p=0,00	p=,257
OD	-,1338	-,3729	-,2826	-,1404	,3141	,1690	1,0000	,1890	,0364
	p=,292	p=,002	p=,024	p=,269	p=,011	p=,182	p= ---	p=,135	p=,775
TSD	-,3601	-,5884	-,4621	,5718	-,3132	,9986	,1890	1,0000	-,1510
	p=,003	p=,000	p=,000	p=,000	p=,012	p=0,00	p=,135	p= ---	p=,234
FLUXO	-,2026	,0785	,2998	,0244	,0127	-,1438	,0364	-,1510	1,0000
	p=,108	p=,538	p=,016	p=,848	p=,921	p=,257	p=,775	p=,234	p= ---

Tabela A.17 - Separação por estação: Fator Loading para fluxo ebulitivo, época da cheia (março, 2010).

FACTOR ANALYSIS			
Extraction: Principal components (Marked loadings are > ,700000)			
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
PROF	-,063467	-,046594	-,945056
T_AR	-,869171	,024698	-,127575
T_AGUA	-,887965	,236704	,179841
PH	,009911	,940515	,230609
ORP	,083299	-,919663	,203605
CONDUT	,733578	,559017	,315549
OD	,432490	-,366674	,332258
TSD	,733453	,544260	,327930
Expl. Var	2,818140	2,532326	1,353888
Prp. Totl	,352268	,316541	,169236

Tabela A.18 - Separação por estação: Análise de Componentes Principais para fluxo ebulitivo, época da cheia (março, 2010).

Continue...				
Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=64 (Casewise deletion of missing data)				
Variable	VAR1	VAR2	VAR3	FLUXO
VAR1	1,0000	,0000	,0000	-,2356
	p= ---	p=1,00	p=1,00	p=,061
VAR2	,0000	1,0000	,0000	-,0322
	p=1,00	p= ---	p=1,00	p=,801
VAR3	,0000	,0000	1,0000	,2395
	p=1,00	p=1,00	p= ---	p=,057
FLUXO	-,2356	-,0322	,2395	1,0000
	p=,061	p=,801	p=,057	p= ---

Tabela A.19 – Teste de correlação dos parâmetros ambientais em função do tipo de transporte (difusivo e ebulitivo) e da estação (seca e cheia). Os campos marcados em verde representam a existência de correlação do parâmetro ambiental no fluxo.

	Prof.	Temp. Ar	Temp. Água	pH	ORP	OD	Cond.	TSD
Difusivo	-0,31 p = 0,80	0,11 p = 0,36	0,19 p = 0,10	-0,58 p = 0,00	0,60 p = 0,00	-0,27 p = 0,02	0,01 p = 0,94	0,01 p = 0,95
Ebulitivo	-0,17 p = 0,11	0,23 p = 0,03	0,31 p = 0,00	0,01 p = 0,94	0,00 p = 0,94	0,10 p = 0,33	-0,04 p = 0,69	-0,47 p = 0,67
Difusivo (Seca)	0,21 p = 0,12	-0,23 p = 0,08	-0,28 p = 0,03	-0,19 p = 0,16	0,36 p = 0,01	-0,30 p = 0,02	-0,09 p = 0,50	-0,09 p = 0,49
Difusivo (Cheia)	-0,17 p = 0,54	-0,77 p = 0,00	-0,43 p = 0,11	0,20 p = 0,48	-0,05 p = 0,85	0,40 p = 0,15	0,59 p = 0,02	0,59 p = 0,02
Ebulitivo (Seca)	-0,22 p = 0,36	0,39 p = 0,10	0,37 p = 0,12	0,28 p = 0,24	-0,31 p = 0,20	0,35 p = 0,15	0,28 p = 0,25	0,28 p = 0,24
Ebulitivo (Cheia)	-0,20 p = 0,10	0,07 p = 0,53	0,29 p = 0,01	0,02 p = 0,84	0,01 p = 0,92	0,03 p = 0,77	-0,14 p = 0,25	-0,15 p = 0,23

Tabela A.20 – Análise de Componentes Principais dos parâmetros ambientais em função do tipo de transporte (difusivo e ebulitivo) e da estação (seca e cheia).

	Variáveis Ambientais	Correlação
Difusivo	Oxigênio dissolvido, pH, ORP	-0,530 p = 0,000
Ebulitivo	Temperatura do ar e da água	0,297 p = 0,007
Difusivo (Seca)	Temperatura do ar e da água, pH, ORP, oxigênio dissolvido	0,390 p = 0,004
Difusivo (Cheia)	Temperatura do ar e da água, total de sólidos dissolvidos	0,755 p = 0,002
Ebulitivo (Seca)	Nenhuma correlação	–
Ebulitivo (Cheia)	Nenhuma correlação	–