



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL
DE RONDÔNIA *CAMPUS* JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



ALINE ROLIM VIEIRA

**FLUXO DE CO₂ NA INTERFACE AR-ÁGUA EM RESERVATORIO DA USINA
HIDRELETRICA RONDON II, PIMENTA BUENO – RO.**

Ji-Paraná

2014

ALINE ROLIM VIEIRA

**FLUXO DE CO₂ NA INTERFACE AR-ÁGUA EM RESERVATÓRIO DA USINA
HIDRELÉTRICA RONDON II, PIMENTA BUENO - RO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, da Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* Ji-Paraná como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof. Dr.^a Beatriz Machado Gomes

Ji-Paraná

2014

Vieira, Aline Rolim

V658f Fluxo de CO₂ na interface ar-água em reservatório da Usina Hidrelétrica
2014 Rondon II, Pimenta Bueno - RO / Aline Rolim Vieira; orientadora, Beatriz
Machado Gomes. -- Ji-Paraná, 2014
38 f. : 30cm

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Ambiental. –
Universidade Federal de Rondônia, 2014

Inclui referências

1. Energia elétrica. 2. Meio ambiente - Conservação. 3. Usinas hidrelétricas –
Aspectos ambientais - Rondônia. I. Gomes, Beatriz Machado. II.
Universidade Federal de Rondônia. III. Título

CDU 621.311.21(811.1)



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CAMPUS DE JI-PARANÁ



ATA DA SESSÃO DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO

As 9:00 horas do dia 17 (dezesete) do mês de fevereiro de 2014, realizou-se na Sala um do Prédio da Engenharia Ambiental *Campus* de Ji-Paraná, a Sessão de Apresentação e Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**FLUXO DE CO₂ NA INTERFACE AR-ÁGUA EM RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA RONDON II, PIMENTA BUENO - RO**”, apresentada pela acadêmica ALINE ROLIM VIEIRA. O trabalho foi julgado satisfatório pelos docentes, Nara Luisa Reis, Robson Alves de Oliveira e Beatriz Machado Gomes, docentes da Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, *Campus* de Ji-Paraná, com nota 84 como requisito parcial para obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL e com ressalvas para correções a serem feitas pelo aluno antes de submeter a versão final para o fechamento da nota na disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso. Ji-Paraná, 17 de fevereiro de 2014.

ORIENTADOR: Dr^a Beatriz Machado Gomes: *Beatriz*
Aprovado () Reprovado ()

AVALIADOR: Dr^a Nara Luisa Reis *Nara L. Reis de Andrade*
Aprovado () Reprovado ()

AVALIADOR: Msc. Robson Alves de Oliveira: *Robson Alves de Oliveira*
Aprovado (x) Reprovado ()

ORIENTANDA: Aline Rolim Vieira: *Aline Rolim Vieira*

Reaberta a sessão pública, a orientadora proclamou o resultado e encerrou a sessão, da qual foi lavrado a presente Ata que vai por mim assinada.

Beatriz
Prof. Dra **Beatriz Machado Gomes**

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por ter me acompanhado todo esse tempo e me dar forças pra ir até o fim.

Aos meus pais e as minhas queridas irmãs Poliana, Vanessa e Letícia pelo apoio, compreensão, ajuda, e, em especial, por todo carinho nesse árduo percurso.

A minha excelente orientadora, Prof. Dr.^a Beatriz Machado Gomes, pelos preciosos ensinamentos, carinho e amizade, sem a qual não teria concluído esse trabalho. Muito obrigada pelas sensatas cobranças, palavras de apoio ou histórias de superação.

A Eng. Priscylla Lustosa pela oportunidade de dar continuidade a esse arrojado trabalho e ao meu amigo Eng. Douglas Silvério pela ajuda indispensável durante elaboração plano de trabalho para o PIBIC.

Ao Prof. Me. Robson Alves Oliveira que muito prontamente aceitou fazer parte da banca e a Prof.^a Dr.^a Nara Luisa Reis pelo valioso convite para participar do PROEXT e por gentilmente acolher o pedido para fazer parte da banca.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Ambiental da UNIR por todos esses anos de transmissão segura e paciente de conhecimento.

A UNIR/CNPQ, pelo apoio, por meio de bolsa, fundamental para a realização deste estudo e a Eletrogóes Energia S.A, pelo apoio logístico fornecido para a realização das campanhas de campo, em especial ao Sr Geferson Augusto de Mello.

Aos amigos Tandy e João que me ajudaram durante as campanhas de coleta de campo para a realização desse trabalho. E todos meus amigos, que, de um jeito ou de outro, ajudaram nesta caminhada, em especial aos amigos Vanessa Piffer, Lincoln, Mariana, Angela, Cleverson, João Gabriel e Fábio Freitas. A todos muito obrigado!!!

Não há lugar para a sabedoria onde não
há paciência.

Santo Agostinho

RESUMO

VIEIRA, A. R. Fluxo de CO₂ na interface ar-água em reservatório da Usina Hidrelétrica Rondon II, Pimenta Bueno – RO

A construção das barragens em áreas de florestas tropicais recebe críticas sobre a possibilidade de causar sérios impactos ecológicos, entre os quais a emissão de gases potenciadores do efeito estufa. Grande parte dos estudos publicados sobre gases de efeito estufa em meio aquático, refere-se aos ambientes naturais de rios, lagos e oceanos e a emissão por hidrelétricas tem uma abordagem relativamente recente. O objetivo do estudo foi estimar o fluxo de CO₂ no reservatório da Usina Hidrelétrica Rondon II, que está localizado num trecho do rio Comemoração no município de Pimenta Bueno, Rondônia. Para a coleta foi utilizada uma pequena câmara flutuante conectada a um Analisador de CO₂ por Infravermelho (IRGA) e este a um computador portátil para registro dos dados. Em todas as amostragens, foi medida a velocidade média e instantânea do vento, a temperatura do ar e a umidade relativa, também foram determinados os parâmetros físico-químicos. Os resultados obtidos mostraram que a temperatura da água apresentou-se na maioria dos pontos ligeiramente superior a temperatura do ar, o que favorece a liberação de gases do meio aquático para a atmosfera. O valor obtido para concentração média de CO₂ na atmosfera foi de 382,4 ppm, inferior a concentração média global de CO₂ de 395,09 ppm. Para as médias gerais, o valor médio de fluxo de CO₂ encontrado foi de 5480,5 ± 3009,8 mg C m⁻².d⁻¹. Os valores encontrados para fluxo de CO₂ no reservatório estão acima da média dos valores encontrados para rios no estado de Rondônia, dentre eles o rio Comemoração.

Palavras-chave: Emissão de CO₂; CO₂ em meio aquático; gases em reservatórios.

ABSTRACT

VIEIRA, A. R. Flow of CO₂ in the air-water interface in Reservoir Hydroelectric Rondon II, Pimenta Bueno - RO

The construction of dams in tropical forest areas receives criticism about the possibility of causing serious ecological impacts, among which the emission of greenhouse gases enhancers. Large part of the published studies on greenhouse gases in aquatic environment refers to the natural environments of rivers, lakes and oceans and the issuance by hydroelectric power has a relatively recent approach. The objective of the study was to estimate the flow of CO₂ in the reservoir of Rondon II Hydroelectric, which is located on a stretch of the Comemoração River, near of the city Pimenta Bueno, Rondônia. For the collection was used a small floating chamber connected to an Infrared CO₂ Analyzer (IRGA) and this to a laptop computer for data logging. In all the samples, was measured the an average speed and instantaneous of the wind, air temperature and relative humidity, were also determined the physicochemical parameters. The results obtained showed that the water temperature was at most points slightly higher than the air, which favors the release of gases from the aquatic environment to the atmosphere. The value obtained for average concentration of CO₂ in the atmosphere was of 382.4 ppm, below the global average of 395.09 ppm. For the general averages, the average value of CO₂ flow was found to $5480.5 \pm 3009.8 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$. The values found for CO₂ flow in the reservoir are above the average of the values found for rivers in the state of Rondônia , including the Comemoração River .

Keywords: CO₂ emissions; CO₂ in aquatic environment; gas in reservoirs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Sequência metabólica do processo anaeróbio.	18
Figura 2 - Mapa de localização da UHE Rondon II.	22
Figura 3 - Visão aérea da usina e localização dos pontos de coleta	23
Figura 4 - Pontos de amostragem..	24
Figura 5 - Amostragem de CO ₂ no sistema da câmara flutuante.	26
Figura 6 - Concentração de CO ₂ atmosférico.	30
Figura 7 - Representação de curva de amostragem de concentração de CO ₂	31
Figura 8 - Box-plot representativo do fluxo CO ₂ em meio aquático.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos analisados nos quatro pontos de amostragem na UHE Rondon II, 2013.....	27
Tabela 2 - Condições climatológicas observadas durante as amostragens, UHE Rondon II, 2013.....	29
Tabela 3 - Valores de fluxo de CO ₂ obtidos em 4 campanhas de coletas em 2013.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 CONCENTRAÇÃO DE CO ₂ ATMOSFÉRICO GLOBAL.....	15
2.2 PROCESSOS AERÓBIO E ANAERÓBIO.....	17
2.3 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM RESERVATÓRIOS.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.2 MÉTODOS AMOSTRAIS.....	24
3.2.1 Fluxo Difusivo Através de Câmaras Flutuantes.....	25
3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

A hidroeletricidade é a principal fonte de energia elétrica no Brasil em virtude da vasta disponibilidade de recursos hídricos, relevo favorável e avanço tecnológico. Em 2008 as usinas hidrelétricas foram responsáveis por 80% da geração de energia elétrica no Brasil e estima-se que apenas 30% do potencial hidrelétrico do Brasil foi explorado, sendo que a maior parte do potencial está localizado na região Norte (ROCHA, 2009; MME, 2009).

A construção de reservatórios está associada com diversos impactos ambientais, tanto de natureza positiva quanto negativa. Dentre os positivos os mais relevantes são: produção de energia, expansão dos postos de trabalho durante a construção das usinas, o fornecimento de energia em substituição ao processo de combustão de diesel. Já entre os impactos negativos, podemos citar as alterações na qualidade da água, a realocação de pessoas, as mudanças na estrutura da comunidade aquática, a perda de patrimônio genético (flora e fauna), a desestabilização de encostas e alterações climáticas, incluindo os aspectos relacionados com a emissão de gases de efeito estufa (VON SPERLING, 2012).

A geração de eletricidade a partir de usinas hidrelétricas durante muito tempo foi considerada como uma das formas mais limpa e renovável de produção de energia. No entanto, no início da década de 90, alguns estudos apresentaram evidências que os reservatórios de usinas hidrelétricas seriam emissores potenciais de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, comparáveis às emissões de usinas termoeletricas convencionais por unidade de energia produzida. Para justificar novos projetos de usinas hidrelétricas deve-se mostrar, entre outros aspectos, que esta é a melhor solução em termos ambientais para uma dada capacidade instalada. Tais estudos iniciaram uma discussão entre os especialistas em energia e em meio ambiente sobre a potencialidade das hidrelétricas na emissão de GEE, de modo que informações mais acuradas são necessárias. Com a controvérsia sobre se hidroeletricidade é uma energia limpa, surgem pesquisas sobre fluxo de CO₂ a partir de reservatórios de usinas hidrelétricas em regiões boreais e tropicais. Dessa forma, estudos no país com o objetivo de quantificar as principais emissões de CO₂, CH₄ e N₂O (SBRISIA et al, 2011; WANG et al, 2011, VON SPERLING, 2012).

Estima-se que os reservatórios das hidrelétricas amazônicas são fontes de dióxido de carbono e metano para a atmosfera em razão da biomassa inundada em decomposição anaerobicamente debaixo d'água. Nos primeiros anos, as emissões são extremas e progressivamente diminuem ao longo do tempo. As usinas hidrelétricas no Amazônia devem

gerar 0.25e 0.4 MWh por km² de área inundada para produzir menos gás de efeito estufa que as usinas de gás (ABRIL et al, 2013).

A emissão desses gases pode ocorrer por borbulhamento, difusão na superfície do lago e descompressão do escoamento depois de passar pelas turbinas. Todavia, há ainda pouco conhecimento sobre quanto gás é emitido e sua relação com a nova dinâmica biogeoquímica do reservatório. Em torno dessa questão científica, alguns grupos ideológicos encontram uma forma para atacar a alternativa hidroelétrica (KELMAN et al, 2008).

Em virtude de sua recente abordagem, a maioria dos estudos sobre emissões de gases de efeito estufa em reservatórios tem se concentrado na estimativa de gás metano. Ainda são poucos os estudos publicados sobre emissão de CO₂ em reservatórios em usina hidrelétricas. Além disso, não há consenso entre os cientistas com relação à mensuração da emissão e extrapolação de dados de um local para outro.

Neste trabalho o objetivo foi estimar o fluxo de CO₂ em reservatório da Usina Hidrelétrica Rondon II utilizando a metodologia da câmara flutuante, buscando contribuir com mais dados para melhor elucidar a problemática.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO GLOBAL

A atmosfera terrestre é composta majoritariamente por dois gases, o Oxigênio (O₂) e o Nitrogênio (N₂), que somados atingem cerca de 99% em volume de ar seco. Em segundo plano, com cerca de 0,9%, está o Argônio (Ar). O restante está distribuído dentre os demais gases, inclusive os causadores do efeito estufa, na forma de gases traços, sendo que o CO₂ corresponde a 0,039% (SANTOS, 2000).

Esses gases que ocorrem na atmosfera têm alto potencial de interação com outros elementos químicos e com a radiação infravermelha. Os gases de efeito estufa podem ser classificados, numa primeira aproximação em: de origem natural e de origem antropogênica. Os principais gases causadores do efeito estufa, relacionados às principais fontes específicas de emissão, são os seguintes (BAIRD, 2002):

- **Vapor d'água (H₂O)_g** – Ocorre naturalmente.
- **Dióxido de Carbono (CO₂)** – Ocorre naturalmente, mas também por extração, transformação, transporte e uso final de combustíveis fósseis, desmatamentos associados a queimadas de áreas florestadas.
- **Ozônio (O₃)** – Ocorre naturalmente, mas também como consequência de reações complexas na alta atmosfera (reações fotoquímicas com CO, CH₄ e NO_x).
- **Metano (CH₄)** – Produzido através de processos de decomposição anaeróbica ou por combustão incompleta nas mudanças no uso do solo e áreas naturais pantanosas; criação e dejetos de animais ruminantes, utilização energética (produção, armazenagem, queima de carvão mineral produção e transporte de gás natural).
- **Clorofluorcarbonos (CFCs)** – Atividade industrial, gases refrigerantes (ar condicionado, refrigeradores), aerossóis.
- **Óxido Nitroso (N₂O)** – Ocorre naturalmente por desnitrificação dos solos em condições anaeróbicas, mas também por queima da biomassa e utilização de fertilizantes.

A intensificação das atividades humanas, a partir da revolução industrial, proporcionou o aumento da emissão de determinados gases para a atmosfera (IPCC, 2007).

Na absorção da radiação infravermelha, há um processo de excitação vibracional das moléculas dos gases que compõem a atmosfera e que posteriormente emitem a energia absorvida, causando um aumento de temperatura da atmosfera. É este processo que mantém a temperatura média da atmosfera em torno de 14°C. Tal mecanismo é chamado de efeito estufa e consiste no equilíbrio térmico do planeta, garantido pela capacidade das moléculas dos GEE de absorverem fortemente boa parte da radiação eletromagnética do tipo infravermelha que é emitida pelo sol e também reemitida pela superfície terrestre e nuvens (SANTOS, 2000).

O vapor de água é o principal gás de efeito estufa, contribui com 70% do processo, mas como sua concentração no ciclo hidrológico é considerada constante, os estudos se voltam para os gases que tem sua concentração atmosférica alterada desde a revolução industrial. O dióxido de carbono (CO₂) é o principal gás de efeito estufa (GEE) em termos de forçamento radiativo de contribuição para o aquecimento global devido o aumento da utilização de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural). A concentração de dióxido de carbono aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005 (ROCHA, 2009; YANG et al, 2013).

Segundo Santos (2000), o IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, geralmente adota o CO₂ como gás de referência por ser o gás dominante na emissão por fontes antropogênicas, sendo desta forma o de maior interesse para considerações de políticas.

2.2 CARBONO NO MEIO AQUÁTICO

No meio aquático a origem do carbono é classificada em: alóctone, originário da região terrestre da bacia de drenagem; autóctone, derivado dos processos biológicos que ocorrem no meio aquático; antropogênico, derivado da agricultura, indústria, urbanização. As principais formas de carbono presente em meio aquático são as particuladas e dissolvidas. Os principais processos que determinam a concentração do carbono inorgânico e do CO₂ dissolvido em rios e lagos são: respiração de microorganismos e raízes no solo inundado, de plantas aquáticas e da matéria orgânica; trocas com o CO₂ atmosférico; intemperismo das rochas. A concentração do CO₂ dissolvido nos corpos de água encontra-se em desequilíbrio com o valor na atmosfera e o CO₂ produzido ou consumido pelos processos biológicos e químicos (respiração, fotossíntese, precipitação, reações de dissolução de minerais), na fase aquosa, entra rapidamente em equilíbrio no sistema de carbonatos (HOPE et al.,1994).

O carbono alóctone tem origem no compartimento terrestre e através do escoamento das chuvas pela parte arbórea da vegetação e solo, a matéria orgânica em diversos estados de decomposição é escoada para os rios, onde prossegue o processo durante o transporte até os oceanos. Os rios representam um dos reservatórios de carbono onde ocorrem importantes processos físico-químicos e biológicos que contribuem para a ciclagem de nutrientes, retornando compostos na forma de gases à atmosfera, depositando-os no leito dos rios na forma de sedimentos e transportando carbono nas formas particulados e dissolvidos para os oceanos, integrando a ciclagem em maior escala. Hope et al. (1994), apresenta vários valores estimados por outros autores para o fluxo global de carbono para os maiores rio, que correspondem de $0,3$ a $10,0 \cdot 10^{11} \text{ Kg C ano}^{-1}$ para carbono orgânico e de $3,8$ a $5,3 \cdot 10^{11} \text{ Kg C ano}^{-1}$ para carbono inorgânico.

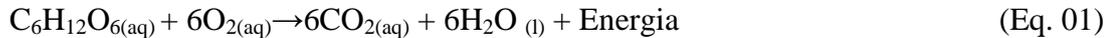
Em revisão sobre carbono no meio aquático, Hope et al. (1994) relaciona vários estudos realizados no Hemisfério Norte e destacam que o transporte anual de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) varia de 1 a $500 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, mas para a maioria das bacias estudadas os valores estão entre 10 a $100 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com media em torno de $56,2 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Para Carbono Orgânico Particulado (COP), a variação foi de $0,5$ a $505,0 \text{ Kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O fluxo global de carbono inorgânico em rios é ligeiramente maior do que para carbono orgânico, entre $5,3 \cdot 10^{11} \text{ Kg C ano}^{-1}$ e $2,6 \cdot 10^{12} \text{ Kg C ano}^{-1}$. Quanto ao carbono inorgânico, este é transportado em maioria na forma de HCO_3^- , originário de fonte atmosférica e de intemperismo químico.

2. 3 PROCESSOS AERÓBIO E ANAERÓBIO

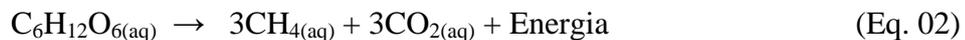
Nos reservatórios de usinas hidrelétricas a principal fonte do gás é a decomposição bacteriana (aeróbico e anaeróbico) de material orgânico que produz CO_2 e CH_4 respectivamente. Como consequência, a determinação do efeito líquido da substituição de uma hidrelétrica por uma planta de geração térmica (ou vice-versa) requer um estudo das emissões potenciais de cada tecnologia e uma comparação do efeito de estufa do CH_4 relativo a CO_2 (SANTOS, 2000).

Os processos biológicos de degradação da matéria orgânica são subdivididos em dois grandes grupos: aeróbico, que ocorre na presença de oxigênio como redutor de elétrons; e anaeróbico que ocorre na ausência de oxigênio. O processo aeróbico pode ser simplificadaamente representado utilizando como modelo a molécula de glicose (Eq. 01). Neste processo vários

microrganismos, como protozoários, fungos, leveduras, micrometazoários e bactérias atuam conjuntamente para degradação da matéria orgânica.



Nos processos anaeróbios a maioria dos micro-organismos atuantes são bactérias, basicamente as acidogênicas e as metanogênicas (Figura 01). A degradação da matéria orgânica é realizada em diversas etapas distintas e por diferentes espécies de bactérias. O processo geral pode ser representado, tomando novamente a molécula de glicose como exemplo (Eq.02).



Em muitos lagos, o alto grau de respiração se deve ao Carbono Orgânico Dissolvido (COD) alóctone proveniente da bacia de drenagem do lago ou reservatório. Há lagos que funcionam como sistemas heterótrofos líquidos, isto é, como fontes de dióxido de carbono para atmosfera, por outro lado, simultaneamente, estudos demonstram a ocorrência de lagos que podem funcionar como sumidouros de carbono. Essa função sumidouro ocorre, geralmente, pela característica de ambiente lântico que o lago oferece, facilitando a deposição do carbono no fundo (ANDERSON et al., 2006; SBRISSIA, 2008).

A atividade de gás carbônico varia com uma série de fatores como: clima, temperatura, velocidade do vento, radiação solar, parâmetros físico-químicos da água, composição da biomassa e idade do reservatório. A temperatura tem grande importância, devido à sua influência sobre as demais propriedades físico-químicas da água, principalmente na solubilidade dos gases, e sobre a manutenção da vida aquática. Quanto menor o pH maior o fluxo difusivo de dióxido de carbono para atmosfera. Os reservatórios localizados em áreas tropicais apresentam taxas de emissão maiores que aqueles situados em regiões boreais e temperadas, isso porque as altas temperaturas do clima tropical favorecem a decomposição de matéria orgânica e a subsequente formação de gases (SBRISSIA, 2008; GOMES, 2009).

Os reservatórios com quantidade média e baixa de matéria orgânica na vegetação e solo apresentaram uma taxa de decomposição maior que o reservatório com grande quantidade de matéria orgânica. Este fato sugere que nos primeiros estágios de alagamento outros fatores como a biodegradabilidade, compostos de carbono e temperatura do solo

alagado, são importantes para determinar a produção de GEE em regiões como a ser estudada (MATTHEWS et al., 2005b).

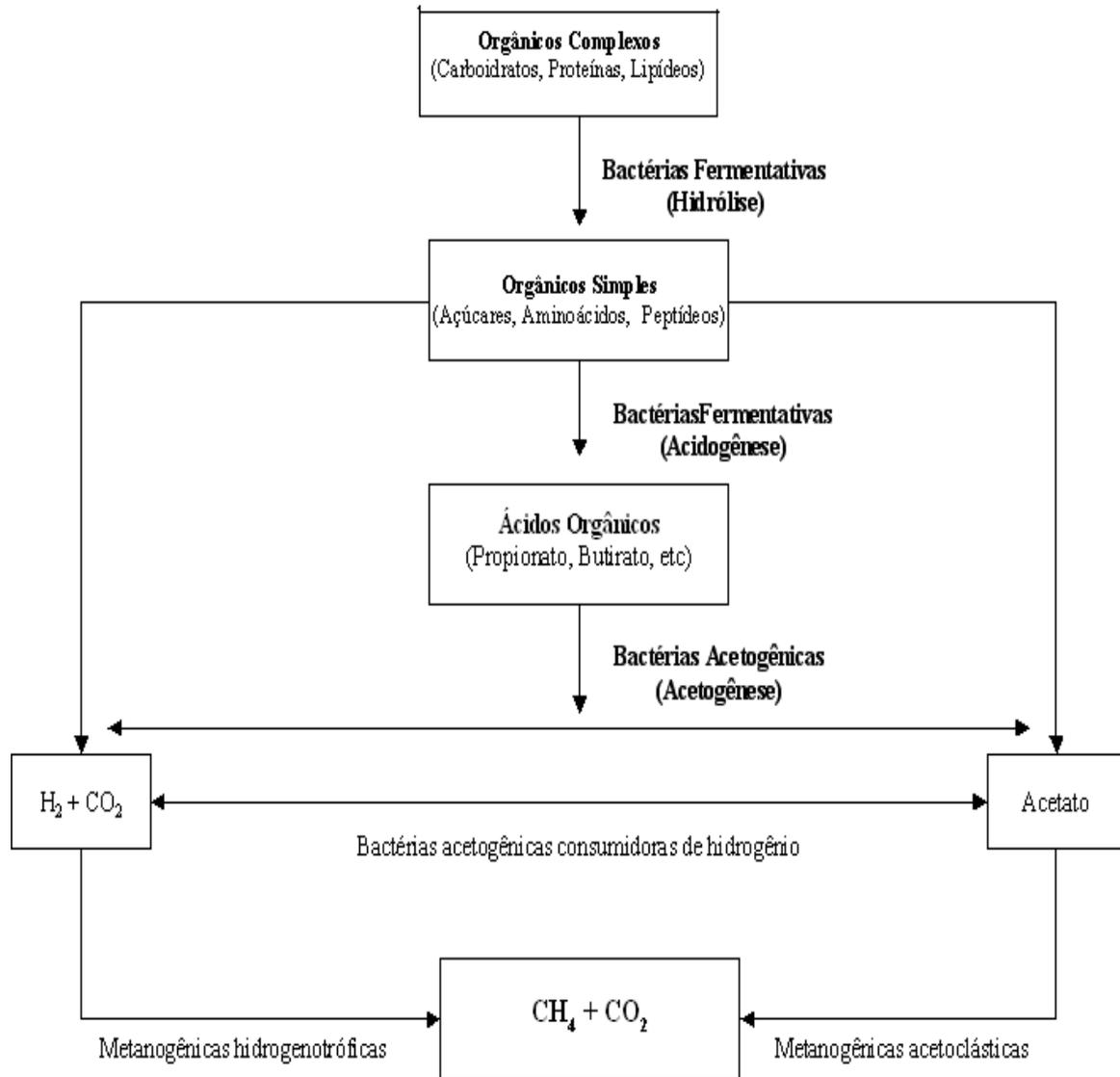


Figura 1- Sequência metabólica do processo anaeróbico. Fonte: Chernicharo, (1997).

2.4 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM RESERVATÓRIOS

Emissões de GEE dos reservatórios e de lagos naturais são causadas pela decomposição da matéria orgânica (MO) e nutrientes presentes no reservatório ou importados a partir da captação na área de influencia (DEMARTY & BASTIEN, 2011).

As barragens em áreas de florestas tropicais são indicadas como contribuintes de gases causadores do efeito estufa e gases biogênicos, de uma forma geral (CO_2 , CH_4 , N_2O e H_2S). Tais emissões em escala global são sujeitas a grandes incertezas, e existe uma forte necessidade de mais observações e uma melhor compreensão dos processos biogeoquímicos envolvidos. A alteração de ecossistemas naturais e sua conversão em áreas alagadas alteram o ambiente aquático, além de mudar o armazenamento de nutrientes e suas taxas de reciclagem. Essas mudanças têm influência no balanço de carbono, nos fluxos de gases-traço e na química da água de superfície e subsuperfície (SANTOS et al, 2006; FEARNSSIDE, 2002, 2013, VON SPERLING, 2012).

As hidrelétricas não são responsáveis por emissões causadas por substâncias que chegam até os reservatórios, pois tais substâncias iriam, de qualquer maneira, emitir gases em outro ambiente. Somente é atribuído as hidrelétricas os gases que têm como origem os nutrientes gerados no fundo de seus reservatórios.

De modo que os gases emitidos pelos reservatórios se originam da decomposição de três fontes: da biomassa original inundada, da biomassa formada pelo processo de fotossíntese nas águas do reservatório e da matéria orgânica proveniente da bacia de drenagem do reservatório (SANTOS et al., 2006; SBRISSIA, 2011).

Segundo Goldenfum (2011), os caminhos para as emissões de GEE para a atmosfera a partir de reservatórios incluem :

- Fluxo difusivo: Descarga de gases de efeito estufa a partir da interface ar-água de um corpo de água. Difusão de CO_2 , CH_4 e N_2O pode ser observada a partir da superfície da água do reservatório; Aumento do fluxo difusivo ao longo do curso do rio a jusante de um reservatório.
- Propagação ou ebullition: Descarga na forma de bolhas de substâncias gasosas na água, que resultam da carbonatação, a evaporação ou do fluxo de fermentação bolha. Este é um caminho importante para CH_4 , por meio anaeróbico na decomposição da MO nos sedimentos, principalmente em águas rasas ;

- Desgaseificação: uma emissão que acontece na descarga das tomadas de baixo nível (incluindo turbina) induzida por mudanças de pressão dramáticas apenas a jusante do reservatório;

Em corpos d'água, cerca de 99% do CO₂ emitido para a atmosfera sai por difusão molecular do gás na água, mas além de bolhas e difusão, a emissão de GEE ocorre pela descompressão do escoamento depois de passar pelas turbinas. A água que passa pela turbina é geralmente tomada na parte de baixo da barragem e contém uma concentração maior de gases (FEARNSIDE, 2002; KELMAN et al., 2008; SBRISSIA, 2008).

Grande parte dos reservatórios apresenta heterogeneidade espacial em fluxo de CO₂. Negligenciar a variabilidade espacial na emissão de CO₂ em reservatórios pode levar a um erro de mais de 25% na estimativa em reservatórios tropicais. Além disso, a emissão de CO₂, também revelou ser variável, dependendo da época do ano, devido às variações na temperatura (ROLAND *et. al*, 2010; TEODORU et al., 2011, WANG et al, 201; DIEM et al , 2012).

Os reservatórios não emitem gases uniformemente mas de forma aleatória no tempo e no espaço. Segundo Sbrissia (2008), o processo de decomposição diminui progressivamente a medida que a quantidade de biomassa inundada é decomposta, e a proporção da sua contribuição para a emissão de gases diminui com o tempo e estabiliza. Geralmente, a maior contribuição é gerada nos primeiros três anos depois da inundação (SANTOS et al., 2005), pois em um reservatório hidrelétrico, a parte importante da produção de gases pode se concentrar em um período de tempo menor que o de vida útil do reservatório. Também há emissões em longo prazo, devido à decomposição da biomassa produzida no reservatório, que permanece depois de uma intensa degradação inicial e se estabiliza com o tempo.

Yang et al, (2013), pesquisou as emissões difusivas de dióxido de carbono (CO₂) na superfície da água do reservatório de Três Gargantas, atualmente a maior reservatório hidrelétrico no mundo, durante um ano utilizando câmaras estáticas flutuantes. Os resultados mostraram que o fluxo de CO₂ anual média foi de $(163,3 \pm 117,4)$ mg de CO₂ m⁻².h⁻¹, na superfície do reservatório, o que é maior do que o fluxo de CO₂ na maioria dos reservatórios de regiões boreais e temperadas, mas menor do que em reservatórios tropicais.

Muitos fatores influenciam na emissão de GEE de reservatórios. Para uma correta análise espacial dos dados, a maioria desses parâmetros e processos devem ser colocados em um contexto geográfico e temporal. São necessárias informações sobre a extensão da área de captação e sua cobertura do solo e uso da terra, a extensão da área que varia temporalmente em habitats aquático no reservatório e do rio a jusante, e a batimetria do reservatório. Também é necessária a informação sobre os estoques de carbono terrestre presentes na área

antes do represamento e sobre as emissões líquidas de GEE do ecossistema original. As emissões de GEE são o resultado de uma complexa combinação de condições no sistema. O uso de uma única variável por si só não é suficiente para explicar a variabilidade das emissões de GEE ou para estimar o fluxo de GEE de um reservatório especificamente (GOLDENFUM, 2011). Neste trabalho não foi possível uma análise mais detalhada destas questões, mas como trabalho preliminar, nossa contribuição é muito importante considerando as dificuldades logísticas e as incertezas sobre o assunto.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O alvo de estudo desta pesquisa é a UHE Rondon II, que pertence à Eletrogoes e está localizada no trecho do rio Comemoração, cerca de 94 km da confluência com o rio Pimenta Bueno, ambos constituintes da bacia secundária do Rio Machado, (Figura 2).

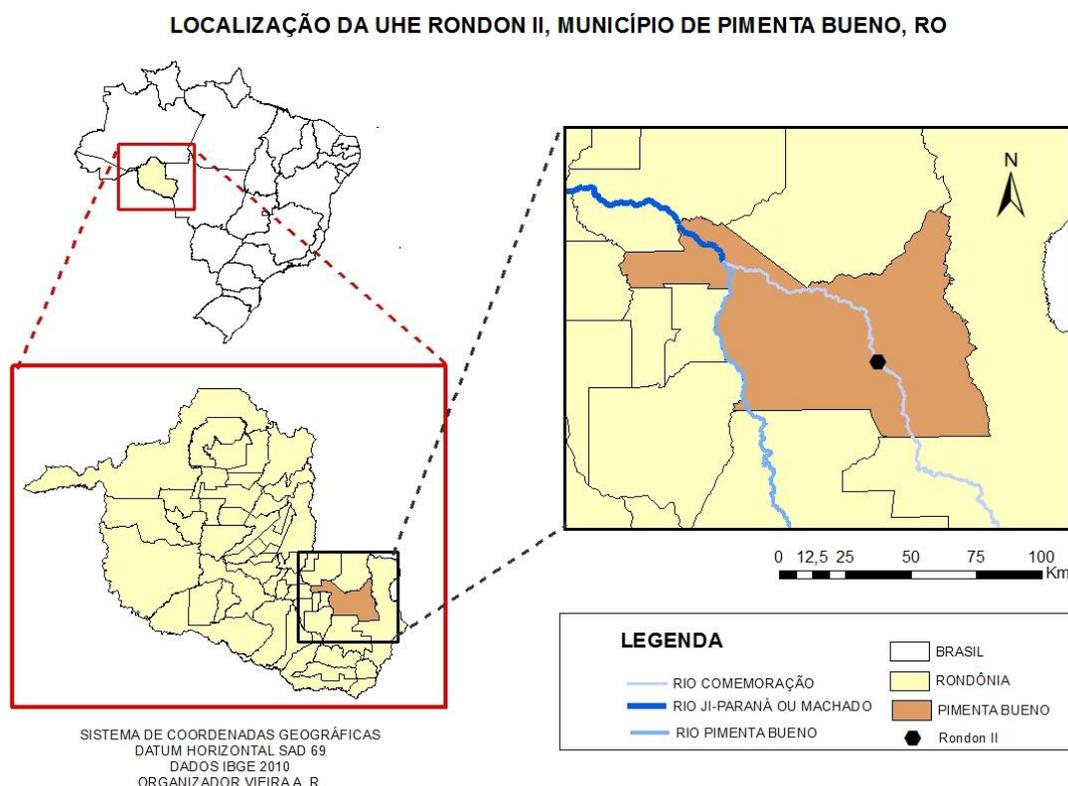


Figura 2 - Mapa de localização da UHE Rondon II.

A UHE Rondon II fica próxima à cidade de Pimenta Bueno-RO, com as seguintes coordenadas geográficas: S 12°00'00" e W 60°41'00", e teve início da operação em 2009. A área de drenagem do empreendimento foi de 3.182 km², e a vazão média de longo termo 86,2 m³.s⁻¹. A área inundada pelo reservatório foi de 83,83 km², sendo o volume total 478,3x10⁶ m³ e volume útil 286,12 x10⁶ m³. A barragem é do tipo enrocamento e possui um comprimento de 1.108 m, com altura máxima de 18,50 m, Figura 3.

A fim de impedir a passagem da água por cima da barragem quando ocorrem chuvas ou aumento da vazão, a usina conta com um vertedouro de soleira livre de 351 m de comprimento e vazão de projeto de $1.270 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ao lado do vertedouro, estão instaladas três comportas hidráulicas, sendo utilizadas como equipamentos de segurança e controle de vazão. No sistema de adução, a tomada d'água é por gravidade e a potência instalada na casa de força é de 67,50 MW, cada uma das três turbinas tendo capacidade para gerar 23,40 MW.

A coleta foi realizada nos seguintes pontos (Figura 3):

- | | |
|---------------------|---------------------------------------|
| P1 - Ponto 1 | Canal para as turbinas |
| P2 - Ponto 2 | Canal para as turbinas |
| P3 - Ponto 3 | Represa |
| P4 - Ponto 4 | Leito original do rio após vertedouro |



Figura 3 - Visão aérea da usina e localização dos pontos de coleta

Os pontos 1 e 2 localizam-se em um canal artificial construído para direcionar a água do reservatório até as turbinas da usina, possui 4 km de comprimento e aproximadamente 10 m de profundidade e 8 metros de largura, Figura 4.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 4 - Pontos de amostragem.(A) ponto 1. (B) ponto 2. (C) ponto 3. (D) ponto 4.

O ponto 1 está mais ao meio do canal e o ponto 2 mais próximo ao reservatório, caracterizam-se por apresentar as bordas e o fundo em cimento e/ou britagem. Não há ocorrência de vegetação. O ponto 3 localiza-se na represa, que possui uma área de floresta inundada de aproximadamente 84km² e profundidade de até 20m. O ponto 4 está localizado logo após o vertedouro, no leito original do rio, onde uma das margens está alterada. Não

possível continuar com as amostragens neste ponto em virtude da dificuldade da câmara em obter uma curva.

3.2 MÉTODOS AMOSTRAIS

Em todas as amostragens, as medidas da velocidade média e instantânea do vento, temperatura do ar, umidade relativa foram realizadas a 1 m de altura da superfície dos rios, utilizando o equipamento Termo Hígro anemômetro, marca Kestrel, modelo 3000. Os parâmetros físico-químicos condutividade elétrica, alcalinidade, foram analisados no Laboratório de Hidrogeoquímica da Universidade Federal de Rondônia. O oxigênio dissolvido, pH e temperatura foram obtidos *in situ*.

3.2.1 Fluxo Difusivo Através de Câmaras Flutuantes

Atualmente, não existe uma norma técnica que especifique como estas câmaras devem ser fabricadas (tamanho, material etc.), portanto, esta metodologia se baseia em Gomes (2009), Figura 5.

Para a coleta foi utilizada uma pequena câmara que flutua na superfície do lago e tem uma abertura para recolher os gases na água. A câmara flutuante opera no sistema ventilado e de equilíbrio. O aparato consiste em uma caixa retangular em polimetil-metacrilato (PMMA) transparente, nas medidas 21 x 51 x 17 cm (18 litros), montado sobre um flutuador. Com a caixa, monta-se uma tubulação em conexão ao Analisador de CO₂ por Infravermelho (IRGA), marca LI-COR, modelo LI-800, e este a um computador portátil para registro dos dados.

O fluxo de CO₂ foi quantificado a cada segundo. Foram realizadas quatro campanhas de coleta em quatro pontos de amostragem e em cada ponto foi coletado dados de fluxo por pelo menos 3 minutos ou até a estabilização. Foi coletada amostra do ar atmosférico e pelo mesmo sistema de análise, quantificada a concentração de CO₂.

O fluxo emitido pelo meio aquático é calculado de acordo com a equação:

$$F = \left(\frac{\delta P_{CO_2}}{\delta t} \right) \left(\frac{V}{RST} \right) \quad (Eq. 03)$$

onde F é o fluxo ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); $(\delta \text{PCO}_2 / \delta t)$ é o coeficiente angular (ppm s^{-1}); V é o volume (m^3) do sistema, incluindo parte interna da câmara e tubulações; R é a Constante dos Gases em ($\text{atm m}^{-3} \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); S é a área da base da câmara em (m^2); T é a temperatura do ar, em unidade Kelvin (FRANKIGNOULLE, 1988).

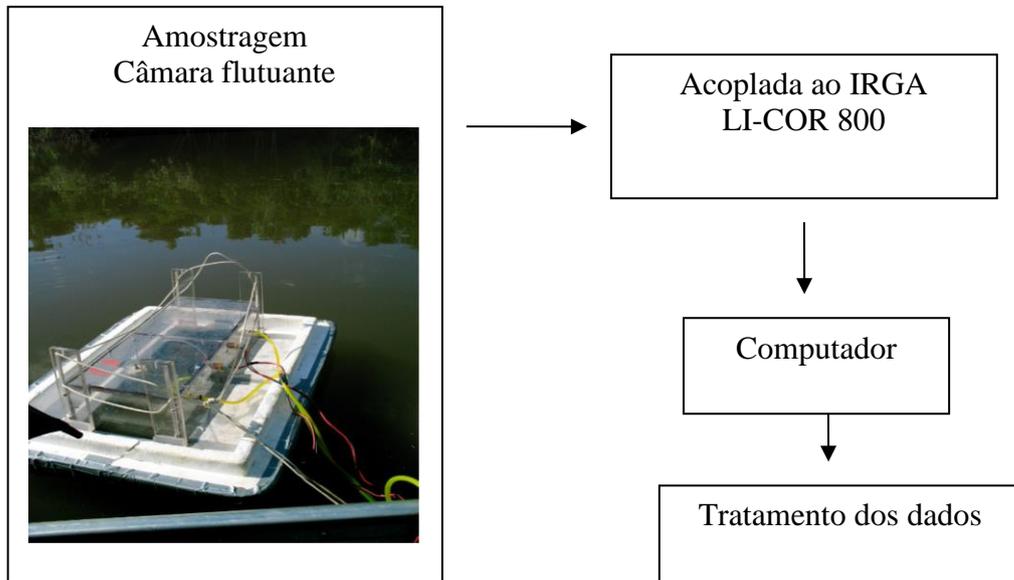


Figura 5 - Amostragem de CO_2 no sistema da câmara flutuante. Fonte: GOMES, B. M.(2009)

3.3. MÉTODOS ANALÍTICOS

O pH, o oxigênio dissolvido, a temperatura e a condutividade foram medidos ainda em campo, através de um pHmetro Orion 290A, de um oxímetro marca YSI modelo 55-12 e um condutímetro. As alíquotas para análises laboratoriais são preservadas de acordo com a NBR 9898 (ABNT, 1987). A turbidez foi medida em laboratório através de um turbidímetro Marte TB 1.000. As análises de alcalinidade são feitas em laboratório por meio de titulação, de acordo com a norma NBR 13.736 (ABNT, 1996).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para alcalinidade total mostraram-se inferiores a $6 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$. A faixa de alcalinidade recomendada para manutenção da vida aquática é de 20 a $200 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. Uma água que possui alta alcalinidade apresenta valores acima de 2000 mg.L^{-1} de CaCO_3 ; e uma água que possui baixa alcalinidade apresenta valores abaixo de 20 mg.L^{-1} .

Os valores medidos mostram que as concentrações H^+ , expresso como pH, nos pontos amostrados são ácidas, pH entre 4,86 e 5,75, tal característica pode estar relacionada a processo químicos tais como a alcalinidade. O pH da maioria das águas naturais varia entre seis e nove. Valores baixos de pH tornam a água corrosiva. A maior parte dos seres vivos não consegue viver em águas com pH menor que quatro (USEPA, 1997; DEZOTTI, 2008).

Os corpos de água doce com ambientes aquáticos bem preservados apresentam condutividade variando na faixa de 150 a $500 \mu\text{S cm}^{-1}$ (USEPA, 1997; GOMES, 2009). Os valores de condutividade nos pontos apresentaram-se entre $7,09$ a $9,78 \mu\text{S cm}^{-1}$, mostraram-se bem baixo do limite mínimo da faixa para manutenção da vida aquática em todos os pontos de coleta. Segundo Gomes (2009), o valor médio para Rio Comemoração coletados a jusante da represa foi de $(11,5 \pm 3,6 \mu\text{S cm}^{-1})$, sendo o mais baixo dentre os rios amostrados no trabalho da autora.

Os valores obtidos para OD mostraram-se menores nos meses de março e abril. Provavelmente devido à relação com a turbidez, apresentada anteriormente.

A Tabela 1 apresenta todos os parâmetros físico-químicos analisados.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos analisados nos quatro pontos de amostragem na UHE Rondon II, 2013.

Parâmetros	2013	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Alcalinidade e (mg/L) CaCO_3	27/abr	$2,20 \pm 0,01$	$2,34 \pm 0,16$	$2,20 \pm 0,02^*$
	06/jun	$5,31 \pm 0,75$	$3,75 \pm 0,13$	$3,98 \pm 0,23$
	07/jun	$3,51 \pm 0,04$	$3,46 \pm 0,06$	$1,77 \pm 2,50$
pH	09/mar	4,86 a 4,92	5,49 a 5,54	5,68 a 5,75**
	27/abr	5,35 a 5,37	5,09 a 5,18	5,09 a 5,10
	06/jun	5,28 a 5,37	5,27 a 5,34	4,90 a 5,08
	07/jun	5,38 a 5,41	5,24 a 5,34	5 a 5,23

Parâmetros	2013	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	09/mar	9,78	9,70	8,47
	27/abr	8,73	9,15	8,45
	06/jun	7,41	7,50	7,57
	07/jun	7,37	7,09	7,65
Turbidez (NTU)	09/mar	6,90 \pm 0,13	7,44 \pm 0,14	4,10 \pm 0,11****
	27/abr	5,48 \pm 0,09	5,74 \pm 0,07	4,37 \pm 0,11
	06/jun	1,48 \pm 0,11	1,92 \pm 0,12	1,25 \pm 0,26
	07/jun	1,79 \pm 0,04	2,08 \pm 0,16	1,75 \pm 0,12
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	09/mar	3,78	4,36	5,45
	27/abr	4,37	3,85	5,64
	06/jun	7,06	7,49	7,22
	07/jun	7,18	8,27	6,85
Temperatura do ar (°C)	09/mar	24,4	27,	31,4
	27/abr	29,6	32,2	29,6
	06/jun	27,7	28,7	28,5
	07/jun	28,3	30,2	24,9
Temperatura da água (°C)	09/mar	28	28,4	28,9
	27/abr	27,2	26,8	27,5
	06/jun	28,1	28,4	27,7
	07/jun	28,3	28,2	27,2

* Desvio padrão, ** Intervalo dos dados, *** Erro do equipamento

Os valores medidos para temperatura do ar e da água não variaram consideravelmente, a média de temperatura do ar para todos os pontos foi de $28,5 \pm 2,33^\circ\text{C}$ e a temperatura da água foi de $27,8 \pm 0,61^\circ\text{C}$.

A velocidade média do vento em todos os pontos amostrados foi de $1,4 \pm 0,7\text{m/s}$ e a velocidade máxima foi $3,5 \pm 1,2\text{m/s}$.

Silva Junior et al (2004), observou que a velocidade do vento quando confrontada com a concentração de CO_2 da atmosfera, mostrou ter relação inversa, pois para valores de velocidade do vento abaixo de $1,5\text{m s}^{-1}$ esteve associado a maiores concentrações de CO_2 , enquanto para velocidades variando entre 1,5 a 7,0 m

s⁻¹ são as menores concentrações. As condições climatológicas obtidas no período de amostragem são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições climatológicas observadas durante as amostragens, UHE Rondon II, 2013.

Ponto	Dia	Temperatura (C)		Velocidade vento (m/s)	
		Ar	Água	Média	Máxima
Ponto 1	09/mar	24,4	28	0,4	1,0
	27/abr	29,6	27,2	2,0	5,0
	06/jun	27,7	28,1	0,8	2,2
	07/jun	28,3	28,3	0,7	3,4
Ponto 2	09/mar	27,	28,4	1,3	3,4
	27/abr	32,2	26,8	2,0	4,5
	06/jun	28,7	28,4	1,0	3,1
	07/jun	30,2	28,2	1,6	5,1
Ponto 3	09/mar	31,4	28,9	1,1	2,8
	27/abr	29,6	27,5	1,0	2,9
	06/jun	28,5	27,7	1,9	4,0
	07/jun	24,9	27,2	3,0	4,8

O valor médio obtido para concentração de CO₂ na atmosfera foi de 382,4 ppm (Figura 6), inferior a concentração média global de CO₂ de 395,09 ppm, com base nos dados da NOAA (2013).

Nos estudos de Silva Junior et al (2004) em uma área de pastagem no município de Ouro Preto do Oeste/RO, cerca de 158km de distância em linha reta do município de Pimenta Bueno/RO, foram medidas as concentração de CO₂ atmosférico, sendo que a média diária (24h) foi de 431 ppm, durante somente o período diurno foi de 386 ppm e durante somente o período noturno foi de 482 ppm.

O período amostrado corresponde à transição entre a estação chuvosa para a seca. No período diurno o principal responsável pelo consumo de CO₂ é a realização da fotossíntese pelas plantas, enquanto no período noturno a respiração das plantas e micro-organismos vivos responsáveis pela decomposição da matéria morta, liberam CO₂ para atmosfera.

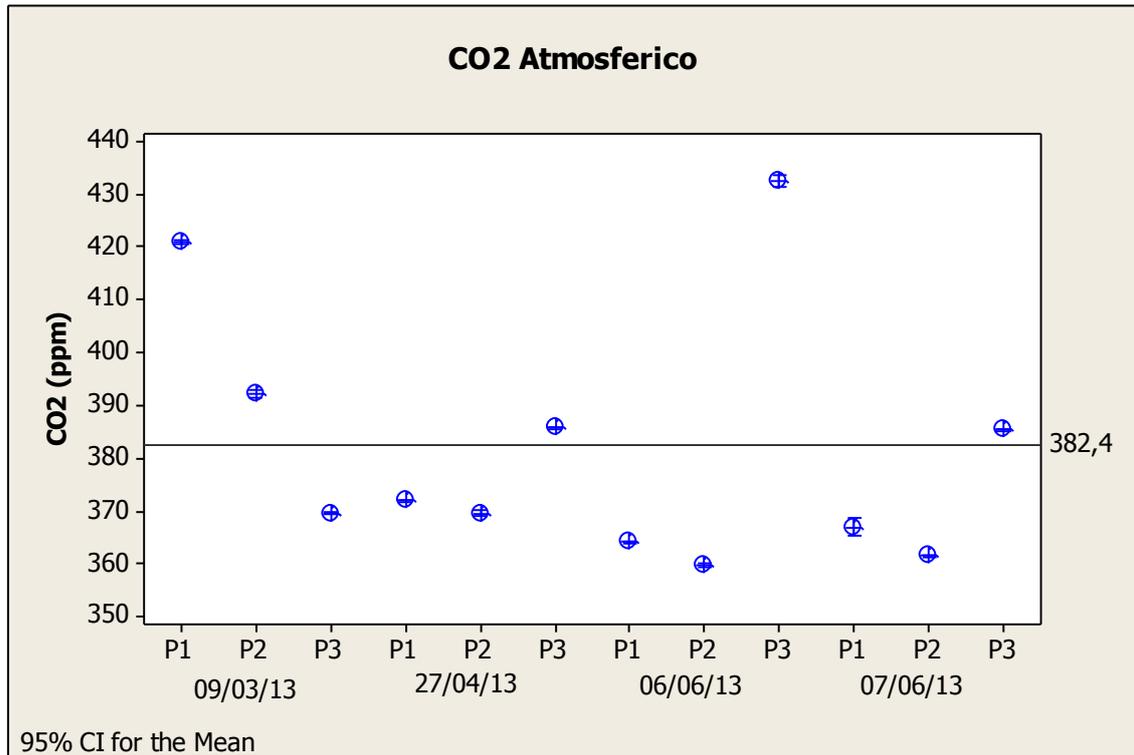


Figura 6 - Concentração de CO₂ atmosférico destacando o valor médio das amostragens.

Para o sistema de amostragem com câmara flutuante em meio aquático, o gráfico de variação de concentração de CO₂ pode ser dividido em três etapas:

- 1) segundos iniciais logo após a câmara ser depositada sob a superfície do rio, quando o ar no interior da câmara ainda é representativo da estabilização com a atmosfera. Nesta etapa pode ocorrer ligeiro decréscimo na concentração do CO₂.
- 2) Depende da magnitude e do sentido do fluxo de CO₂.
- 3) A pressão parcial do CO₂ na água e no interior da câmara se estabilizam (GOMES 2009).

Um exemplo do gráfico gerado dos dados brutos da amostragem é apresentado na Figura7 a seguir.

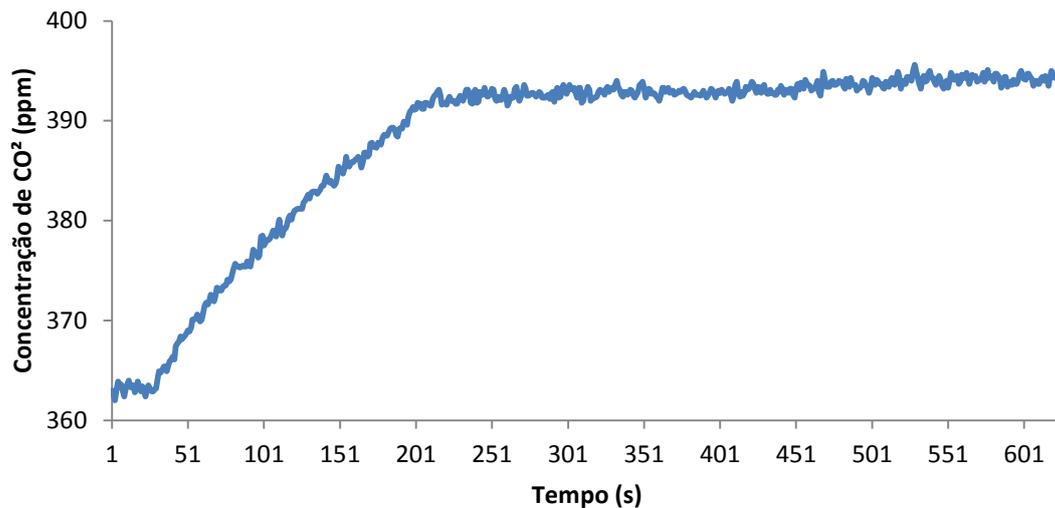


Figura 7 - Representação de curva de amostragem de concentração de CO₂

Os valores obtidos na amostragem foram convertidos para $\text{mg C m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ para facilitar na comparação com os dados do Rio Comemoração, onde está instalada a usina Rondon II.

A seguir, na Tabela 3 são apresentados os valores de fluxo de CO₂.

Tabela 3 - Valores de fluxo de CO₂ obtidos em 4 campanhas de coletas em 2013.

	09/mar	27/abr	06/jun	07/jun
Ponto 1	9131,6	3280,7	1743,8	1452,2
Ponto 2	3049,7	3256,2	2927,3	17908,8
Ponto 3	11753,3	2224,6	3818,9	5219,2

Para as médias gerais, o valor de médio de fluxo de CO₂ encontrado foi de $5480,5 \pm 3009,8 \text{ mg C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$

Os valores médios de fluxo de CO₂ em cada dia amostrado foram os seguintes: no dia 09/03 foi de $7978,21 \pm 3645,6 \text{ mg C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, no dia 27/04 foi de $2920,5 \pm 492,1 \text{ mg C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, no dia 06/06 foi de $2829,5 \pm 849,9 \text{ mg C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ e no dia 07/06 foi de $8193,4 \pm 7039,8 \text{ mg C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$.

Na Figura 8 os valores gerais de fluxo CO₂ expressos em $\text{mg C m}^2 \text{ d}^{-1}$ após os tratamentos matemáticos e cálculos de fluxos.

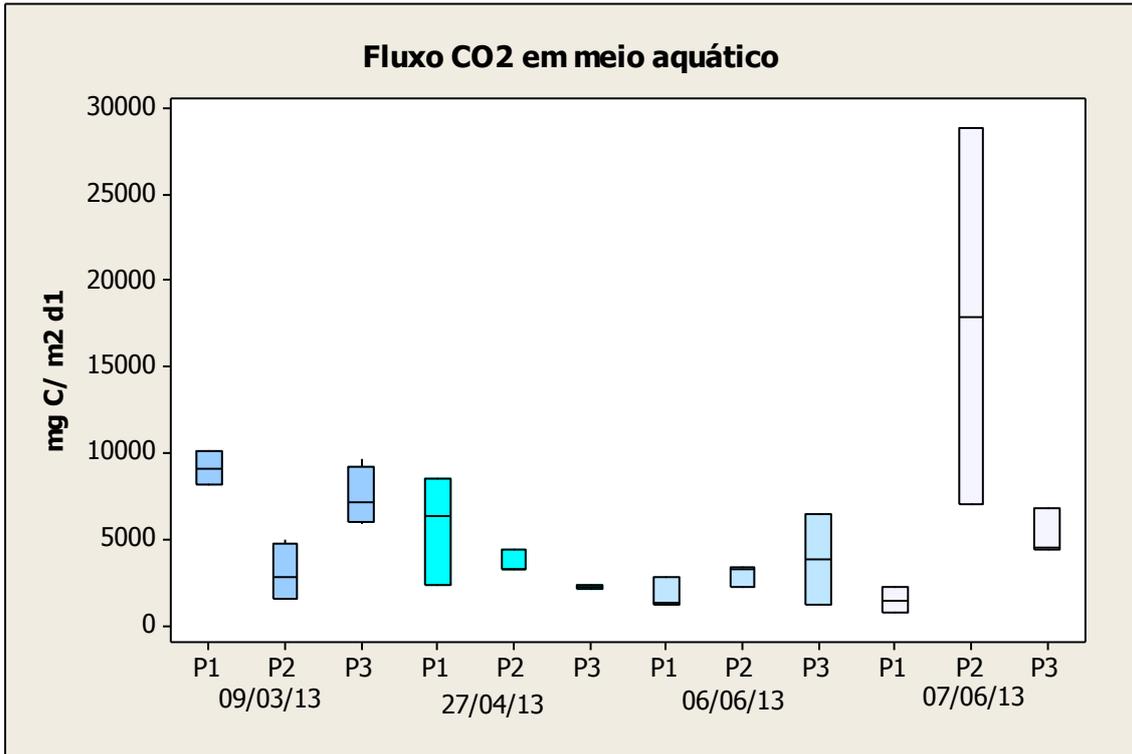


Figura 8 - Box-plot representativo do fluxo CO₂ em meio aquático

As médias de fluxo de CO₂ calculadas para cada ponto são apresentadas a seguir: no ponto 1 foi de $3902,0 \pm 3577,4$ mg C.m².d⁻¹, no ponto 2 foi de $6785,5 \pm 7416,7$ mg C.m².d⁻¹ e no ponto 3 foi de $5754,0 \pm 4182,4$ mg C.m².d⁻¹.

O valor máximo registrado para fluxo de CO₂ foi $17908,8$ mg C m⁻² d⁻¹, obtido no dia 07/06 no ponto 2, também nesse dia e ponto foi registrado o valor máximo para velocidade de vento de $5,1$ m.s⁻¹ a uma temperatura do ar de $30,2^{\circ}\text{C}$.

Os valores são expressivos para emissão atmosférica, é provável que esses valores altos estejam relacionados ao recente processo de alagamento, a variabilidade do ambiente aquático, a característica de rugosidade da superfície de água e a ciclagem de carbono no reservatório.

O valor mínimo para velocidade de vento foi de $0,4$ m.s⁻¹, obtido no dia 09/03, no ponto 1 amostrado a uma temperatura do ar de $24,4^{\circ}\text{C}$, nesse mesmo dia e ponto foi registrado um fluxo de CO₂ de $9131,6$ mg C m⁻² d⁻¹, valor acima da média de $5480,5$ mg C m⁻² d⁻¹ para os dados gerais.

O valor mínimo de fluxo de CO₂ observado foi de $1452,2$ mg C m⁻² d⁻¹, no dia 07/06 no ponto 1 e o valor máximo foi de $17908,8$ mg C m⁻² d⁻¹.

Gomes (2009), obteve o valor mediano de $653,1 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para dados amostrados com a câmara a jusante do reservatório, no Rio Comemoração. Os valores encontrados para fluxo de CO_2 no reservatório estão acima da média dos valores encontrados para rios no estado de Rondônia.

A irregularidade do relevo, distribuição de matéria orgânica em decomposição tornam a emissão um processo aleatório. A instalação da Usina é recente, teve início do seu funcionamento em 2009, portanto, o sistema ainda está tendendo a novo equilíbrio dos processos biogeoquímicos.

5 CONCLUSÃO

Há indícios que o reservatório é um sistema supersaturado e exporta CO_2 para atmosfera. O valor médio geral de fluxo de CO_2 encontrado foi de $5480,5 \pm 3009,8 \text{ mg C.m}^2.\text{d}^{-1}$. Este valor é superior ao obtido anteriormente para o Rio Comemoração. Existe a necessidade de melhor delinear novas amostragens para as variações da concentração atmosférica e do reservatório e também de estender as coletas para obter mais dados visando acompanhar o comportamento do reservatório ao longo do tempo.

O canal e o reservatório apresentam águas com valor de pH ácidas (valor médio pH 5,2), sendo os valores para a represa ligeiramente maiores, mas dentro da variabilidade das águas da região amazônica.

REFERÊNCIAS

- Abril, M; Parize, M.; Pérez, N; Filizol, N. Wood decomposition in Amazonian hydropower reservoirs: an additional source of greenhouse gases. *Journal of South American Earth Sciences* 44 (2013) 104 -107.
- ANDERSON, EVA; SOBECK, SEBASTIAN. Comparison of mass balance and ecosystem model approach when evaluating the carbon cycling in lake ecosystem. *Ambio*, Sweden, v. 35, n. 8, p. 476 – 483, December 2006. Disponível em: <<http://www.skb.se/dd648246-f99c-4b59-a6b2-1fa3cdb3db0e.fodoc>> Acesso em: 22 jun 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9898*. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores: procedimentos. Rio de Janeiro, 22p., 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13736*. Água – determinação de alcalinidade – Métodos potenciométrico e titulométrico. Rio de Janeiro, 5p., 1996.
- BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2a ed. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. Porto Alegre: Boojman, 2002. 622p.
- DEZOTTI, Márcia. *Série Escola Piloto de Engenharia Química*. COPPE/UFRJ. V5. 360p. 2008.
- DEMARTY, M., BASTIEN, J. 2011. GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH₄ emission measurements. Assessing the impact of freshwater reservoirs on natural GHG emissions 121 measurements. *Energy Policy*, Vol. 39, Issue 7, July 2011, 4197-4206.
- DIEM T, KOCH S, SCHWARZENBACH S, WEHRLI B, SCHUBERT C J, 2012. Greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, and N₂O) from several perialpine and alpine hydropower reservoirs by diffusion and loss in turbines. *Aquatic Sciences*, 74(3): 619–635.
- FEARNSIDE, P.M.. As Hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como Fontes de Gases de Efeito Estufa. *Novos Cadernos NAEA* v.12,n.2. 2009
- FEARNSIDE, P.M. Greenhouse Gas Emissions from a Hydroelectric Reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and Energy Policy Implication. *Water and Soil Pollution*, Netherlands, v. 133, n. 1-4, p. 69-96, January 2002.
- FEARNSIDE, P.M. 2013. Climate change and the Amazon: Tropical dams emit greenhouse gases. *ReVista*, Harvard Review of Latin America 12(2): 30-31. <http://www.drclas.harvard.edu/publications/revistaonline/winter-2013/climate-change-andamazon>.
- FRANKIGNOULLE, M. 1988. Field measurements of air-sea CO₂ exchange. *Limnol. Oceanogr.* 33: 313-322. Disponível em: <http://www.aslo.org/lo/toc/vol_33/issue_3/0313.pdf>. Acesso em 15 ago 2013.

GOMES, B. M. Estimativa de emissão de carbono por difusão de CO₂ e CH₄ na Bacia do Ji-Paraná. 2009. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, *campus* de Rio Claro. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista, SP.

GOLDENFUM, J. A. Challenges and solutions for assessing the impact of freshwater reservoirs on natural GHG emissions. *Ecology and Hydrobiology*. Vol. 12. 2, 115-122, 2012.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter L. Abastecimento de água para consumo humano. Editora UFMG. 2006. Belo Horizonte, MG. 859p.

HOPE, D., M. F. BILLET, AND M. S. CRESSER. 1994. A review of the export of carbon in river water: Fluxes and processes. *Environ. Pollut.* 84: 301–324.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm>. Acesso em: 18 jul 2013.

KELMAN, J. & TUCCI, C. & BRAGA, B. & PINGUELLI, L. As hidrelétricas e o efeito estufa. *Revista Brasil Energia*, edição 334, Idéias, págs. 193 e 194, setembro de 2008.

MATTHEWS, H. D.; A. J. WEAVER; MEISSNER, K. J. Terrestrial carbon cycle dynamics under recent and future climate change. *J. Climate*, n. 18, p. 1609-1628. (2005b).

MME (Ministério de Minas e Energia), 2009. *Balanço Energético Nacional – Resultados Preliminares Empresa de Pesquisa Energética*. EPE, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 16 jun 2013

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (2013). Disponível em: <www.esrl.noaa.gov/gmt/ccgg/trends/global.html> Acesso em: 06 03 2013

ROCHA, Carlos Henrique Eça D'Almeida Monitoramento *in situ* do fluxo de dióxido de carbono em reservatórios hidrelétricos no Brasil: o caso do APM Manso/ Carlos Henrique Eça D'Almeida Rocha. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de

Engenharia Civil, 2009. – Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php/component/docman/doc_download/982-carlos-henrique-eca-d-almeida-rocha-doutorado?Itemid=>>. Acesso em 15 jun 2013.

Roland F, Vidal L O, Pacheco F S, Barros N O, Assireu A, Ometto J et al., 2010. Variability of carbon dioxide flux from tropical (Cerrado) hydroelectric reservoirs. *Aquatic Sciences*, 72(3): 283–293.

ROSA, André H.; FRACETO, Leonardo F. Meio Ambiente e Sustentabilidade. Porto Alegre. Bookman, 2012.

SANTOS, M. A. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa Derivadas de Hidrelétricas. 2000. Centro Operações de Pesquisa no Planejamento Energético - COPPE. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. 147p.

SANTOS, M. A. et al. O. Gross greenhouse gas fluxes from hydropower reservoir compared to the power plants. *Energy policy*, v. 34, n. 4, p. 481-488, 2006.

SANTOS, M. A.; MATVIENKO. B.; ROSA, L. P.; SIKAR, E. Carbon dioxide and methane emissions from hydroelectric reservoirs in Brazil. In: SEMINAR ON GREENHOUSE FLUXES FROM HYDRO RESERVOIR AND WORKSHOP ON MODELING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RESERVOIR AT WATERSHED LEVEL, 2005, Rio de Janeiro. Proceedings...: Rio de Janeiro: ELETROBRAS, COPPE/UFRJ.

SILVA JUNIOR, Rosiberto Salustiano da et al. . Estudo da concentração do CO₂ atmosférico em área de pastagem na região amazônica. *Rev. Bras. Geof.*, São Paulo, v. 22, n. 3, Dec. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2004000300005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 22 Jan. 2014.

SBRISSIA, R. C. Emissão de gases de efeito estufa em reservatórios de pequenas centrais hidrelétricas: estudo de caso PCH Salto Natal, Campo Mourão – Paraná. 2008. Setor de Tecnologia. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, PR.

SBRISSIA, R. C. ; FERNANDES, M.C; BRAGA, C. V.; SANTOS, A. F. Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios a Partir da Dinâmica da Matéria Orgânica na Coluna da Água: Estudo de Caso PCH Salto Natal, Campo Mourão — Paraná. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.3 - Jul/Set 2011, 59-69. Disponível em:<https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/ef052feb272a63b9f3dd24939274a337_5575cc9bdb4e138c86cd7af7cac471c5.pdf> Acesso em 13 jan 2014.

TEODORU C R, PRAIRIE Y T, DEL GIORGIO P A, 2011. Spatial heterogeneity of surface CO₂ fluxes in a newly created Eastmain-1 Reservoir in Northern Quebec, Canada. *Ecosystems*, 14(1): 28–46.

VON SPERLING, EDUARDO. Hydropower in Brazil: overview of positive and negative environmental aspects. *Energy Procedia* 18 (2012) 110 – 118.

Yang, L; Lu, F.; Wang, X.; Duan, X.; Tong, L.; Ouyang, Z.; Li, H. Spatial and seasonal variability of CO₂ flux at the air-water interface of the Three Gorges Reservoir. *Journal of Environmental Sciences* 2013, 25(11) 2229–2238.

WANG F.; WANG B. ; LIU C., WANG Y., GUAN J., LIU X., YU Y. Carbon dioxide emission from surface water in cascade reservoir-river system on the Maotiao River, southwest of China. *Atmospheric Environment* 45 (2011) 3827- 3834. China, 2011.

USEPA. Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. *Office of Water* (4503F) – EPA 841-B-97-003. United States, 1997.