

SP/P5510/R0596-2012

**Relatório Técnico - Produto 9:
Medição dos Gases CO₂, CH₄, e N₂O emitidos
pelas represas Guarapiranga e Billings e pelos
rios Pinheiros e Tietê**

São Paulo - SP

PMSP / SVMA

Outubro/2012

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO VERDE E MEIO AMBIENTE

PROGRAMA SBQ N^o 007/2011

Atividade C 05: Sustainable Transport and Air Quality Program (STAQ)

Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP

Banco Mundial

Washington, D.C.

PRODUTO 9

MEDIÇÃO DOS GASES CO₂, CH₄, E N₂O EMITIDOS PELAS REPRESAS
GUARAPIRANGA E BILLINGS E PELOS RIOS PINHEIROS E TIETÊ

Equipe

Amaro, Guilherme
Ambrogi, Vinicius
Andrade, Maria de Fátima - Prof. Dra.
Castro, João
Dionísio, Natália
Matvienko, Prof. Dr. Bohdan
Ohata, Jaime (coordenador executivo)
Rodrigues, Délcio
Sikar, Daniel
Sikar, Elizabeth
Tachibana, Erica
Vilela, Marcio Maia – Prof. Dr. (coordenador técnico)

INSTITUTO EKOS BRASIL

&

GEOKLOCK CONSULTORIA E ENGENHARIA AMBIENTAL

2012

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vias de emissão de CO ₂ e CH ₄ em reservatórios	9
Figura 2 – Corpos hídricos avaliados no Município de São Paulo	12
Figura 3 – Câmara de difusão	20
Figura 4 – Emissão difusiva com ou sem saturação da câmara	21
Figura 5 – Dessorção dos gases para a fase gasosa.....	26
Figura 6 – Funil de captura de bolhas	27
Figura 7 – Armadilha de sedimentação.....	32
Figura 8 – Medições na Represa Billings	34
Figura 9 – Medições na Represa Guarapiranga	35
Figura 10 – Medições nos Rios.....	36
Figura 11 – Concentrações mensais de CO ₂ e CH ₄ no rio Tietê.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Emissão difusiva de CH ₄ e CO ₂	22
Tabela 2 – Taxa de emanção de CH ₄ , CO ₂ e N ₂ O.....	24
Tabela 3 – Concentração de GEE dissolvido nas amostras de água.....	26
Tabela 4 – Taxas de emissão ebulitiva.....	31
Tabela 5 – Sedimentação de carbono nos corpos hídricos.....	33
Tabela 6 – Taxas representativas de emissão e sedimentação dos corpos hídricos.....	40
Tabela 7 – Áreas de espelho d’água dos corpos hídricos avaliados	41
Tabela 8 – Emissões difusivas e ebulitivas dos corpos hídricos.....	41
Tabela 9 – Sedimentação de carbono permanente	42
Tabela 10 – Emissões finais de carbono dos corpos hídricos	42
Tabela 11 – Potencial de aquecimento global.....	43
Tabela 12 – Emissões de GEE dos corpos hídricos	43
Tabela 13 – Emissões finais em GEE	44
Tabela 14 – Concentração de CH ₄ e CO ₂ na água	44
Tabela 15 – Concentração de CH ₄ nas amostras de emissão difusiva.....	54
Tabela 16 – Dados obtidos das amostras de emissão difusiva para CO ₂	55
Tabela 17 – Dados obtidos das amostras coletadas de emissão ebulitiva.....	57

ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
IAP	Índice de qualidade de água para fins de Abastecimento Público
IET	Índice do Estado Trófico
IHA	<i>International Hydropower Association</i>
IQA	Índice de Qualidade da Água
ISA	Instituto Socioambiental
IVA	Índice de qualidade de água para a proteção da Vida Aquática
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
STAQ	<i>Sustainable Transport and Air Quality</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>

SUMÁRIO

1.	Introdução	6
2.	Conceitos e Processos	7
3.	Caracterização dos Corpos Hídricos	11
3.1.	Represa Billings	13
3.2.	Represa Guarapiranga	14
3.3.	Rios.....	15
3.3.1.	Rio Pinheiros.....	16
3.3.2.	Rio Tamanduateí.....	16
3.3.3.	Rio Tietê.....	17
4.	Métodos e Dados.....	18
4.1.	Campanhas de medição	18
4.2.	Pontos de Coleta.....	18
4.3.	Medições	20
4.3.1.	Emissão difusiva	20
4.3.2.	Dessorção	25
4.3.3.	Emissão ebulitiva	27
4.3.4.	Sedimentação de carbono permanente	31
4.3.5.	Mapa das medições	33
5.	Resultados	37
5.1.	Extrapolção temporal.....	37
5.2.	Extrapolção geográfica	38
5.3.	Resultados	40
5.3.1.	Balanço das campanhas de medição	40
5.3.2.	Emissões de GEE	43
5.4.	Dessorção	44

5.5. Discussão.....	46
6. Referências Bibliográficas	49

APÊNDICES

Apêndice A – Medições primárias de emissões difusivas	53
Apêndice B – Medições primárias de emissões ebulitivas	56

1. INTRODUÇÃO

Este relatório é parte integrante dos serviços especializados de consultoria contratados para Elaboração de Inventário Municipal de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) e outros Produtos, no Município de São Paulo, um subprojeto da janela 5 – Gestão da Demanda do Transporte Individual, do *Programa Sustainable Transport and Air Quality* (STAQ), patrocinado pelo *Global Environment Facility* (GEF), através do Banco Mundial, visando à quantificação e remoção das emissões dos gases de efeito estufa.

A quantificação das emissões de GEE de origem antrópica é fundamental para a elaboração de estratégias de mitigação das mudanças climáticas. Uma das fontes que podem contribuir com emissões antrópicas de GEE são os rios e reservatórios, tema deste relatório. Por isto, conhecer melhor a dinâmica destes corpos hídricos e as suas emissões auxiliariam no embasamento das decisões que os envolvem, como políticas de saneamento, hídricas, energéticas e climáticas.

Devido à complexidade dos sistemas hídricos apenas recentemente foi definida uma metodologia de medição e contabilização de GEE nos reservatórios. A Associação Internacional de Hidroelétricas (IHA¹) e a UNESCO², visando aprofundar o conhecimento sobre os impactos dos reservatórios nas emissões naturais de GEE e os processos envolvidos, desenvolveram o Projeto de Pesquisa dos GEE de Reservatórios de Água Doce (IHA, 2010). A partir deste projeto, a IHA elaborou um guia para orientar como devem ser feitas as medições nos reservatório, que apresenta desde dados e equipamentos necessários até como abranger a variabilidade temporal e espacial nas campanhas de amostragem dos reservatórios, com o intuito de padronizar os resultados para permitir comparações desses dados mundialmente.

Neste relatório são apresentados os resultados das emissões e remoções de GEE dos principais corpos hídricos do município de São Paulo realizados pela equipe do Prof. Bohdan Matvienko Sikar, um dos colaboradores do guia elaborado pela IHA e UNESCO.

Este trabalho tem como principal objetivo quantificar a ordem de grandeza das emissões de GEE pelos corpos hídricos. Como objetivo específico, busca-se entender o fluxo de carbono e os seus fatores de contribuição para, futuramente, colaborar no embasamento de políticas públicas.

¹ IHA sigla em inglês do termo *International Hydropower Association*

² UNESCO sigla em inglês do termo *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

2. CONCEITOS E PROCESSOS

Segundo IHA (2010), as medições dos fluxos de GEE na superfície de áreas alagadas tem mostrado que as emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) podem ocorrer em níveis significativos para os inventários de emissões de GEE. Indica ainda que segundo pesquisas realizadas, as emissões dos reservatórios localizados em regiões de clima frio ou temperado são geralmente baixas, mas que em áreas de clima tropical e reservatórios que apresentem condições anaeróbias, essas emissões podem ser altas.

Os dados publicados sobre reservatórios em zonas tropicais ainda são escassos, mas já indicam que as emissões de GEE variam entre reservatórios e até dentro de um mesmo reservatório. Essa variação das emissões pode estar relacionada com diversos fatores, como por exemplo, temperatura, concentração de oxigênio, tipo e densidade da vegetação submersa (IHA, 2010).

A idade dos reservatórios também influencia a dinâmica de emissões de GEE. De acordo com IHA (2010), nos primeiros anos dos reservatórios o monitoramento das emissões de GEE deve ser mais frequente para captar as alterações nas taxas de emissão e nos estoques de carbono até que o sistema entre em equilíbrio. Em condições temperadas e boreais as emissões de GEE tendem a voltar ao nível normal em menos de 10 anos após a inundação. E que, provavelmente, em condições tropicais as emissões devem atingir o equilíbrio ainda mais rapidamente.

O dióxido de carbono e o metano gerado nos reservatórios são provenientes do carbono existente na matéria orgânica produzida ou carregada para o reservatório e da decomposição da matéria orgânica das plantas e do solo inundados pelo reservatório. A geração de dióxido de carbono ocorre na coluna d'água e no sedimento tanto em condições aeróbias quanto anaeróbias, e parte deste dióxido de carbono gerado é consumida pelos produtores primários na zona fótica³ do reservatório. Já o metano é produzido apenas em condições anaeróbias, sendo que parte desse metano é oxidada pelas bactérias metanotróficas.

Nos reservatórios construídos pelo homem, define-se como emissão antrópica (ou líquida) o impacto nas emissões de GEE devido à criação destes reservatórios. Como não é possível medir diretamente esse impacto, considera-se a emissão antrópica como sendo a emissão medida nos

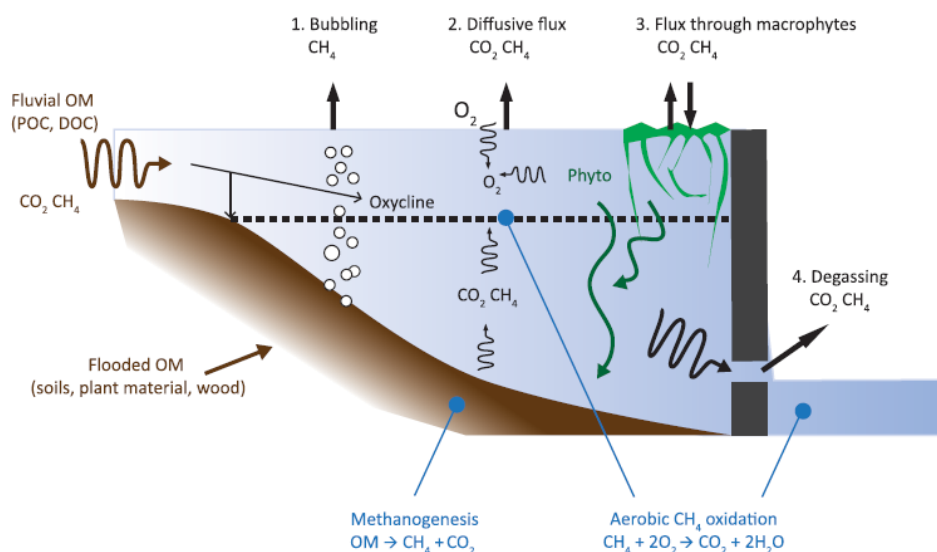
³ Faixa que recebe luz.

reservatórios, descontando-se as emissões que ocorriam naturalmente na área inundada antes da construção do reservatório.

Na maioria dos reservatórios estudados foram pesquisadas duas vias de emissões de GEE dos reservatórios: (1) difusiva e (2) ebulitiva.

- (1) A emissão difusiva, também chamada emanação, depende do gradiente de concentração dos gases entre a camada superficial da água e a atmosfera, sendo que as variáveis climáticas como o vento e a chuva interferem nesse processo. A ocorrência deste tipo de emissão é prevista em toda a superfície do reservatório (IHA, 2010).
- (2) A emissão ebulitiva é a emissão por bolhas, que se dá a partir dos gases gerados no sedimento do reservatório e que inicialmente ficam dissolvidas na água intersticial. Os gases menos solúveis, como o metano, agregam-se em bolhas que podem crescer até se desprenderem do sedimento. Então sobem espontaneamente até a superfície, liberando seu conteúdo para a atmosfera. Em profundidades mais elevadas (maior que 10 metros), as bolhas tendem a se dissolver antes de chegarem até a superfície, por isso as emissões ebulitivas ocorrem principalmente em partes pouco profundas da represa (IHA, 2010).

Assim como na maioria dos estudos realizados em represas, neste relatório também foram quantificadas as emissões difusivas e ebulitivas. Na Figura 1 são ilustradas as possíveis vias de emissões dos reservatórios.



Fonte: IHA/UNESCO, 2010

Figura 1 – Vias de emissão de CO₂ e CH₄ em reservatórios

Conforme apresentado na Figura 1, a troca de gases no corpo hídrico pode ocorrer por vias diferentes. As emissões da represa para a atmosfera por bolhas e por emanção foram explicadas anteriormente. Em represas que existem plantas aquáticas também pode ocorrer troca de gases devido à fotossíntese. Após a barragem, a alteração no regime de fluxo da água pode levar a emissão de gases (degasagem).

Há também a geração de óxido nitroso (N₂O) nos reservatórios, devido aos processos de nitrificação e desnitrificação, sendo que as fontes de nitrogênio podem também ser tanto de processos naturais quanto de atividades antrópicas. O N₂O é formado como subproduto intermediário dos processos de nitrificação e desnitrificação, os quais ocorrem principalmente na interface sedimento-água, mas que também podem ocorrer em colunas de água ricas em matéria orgânica. Há indicativos de que a contribuição do N₂O nas emissões de GEE ocorre numa faixa de 0 a 30% em áreas tropicais (Guérin *apud* IHA, 2010).

Nos reservatórios também ocorre a sedimentação de carbono, considerado com um sumidouro de carbono. Por outro lado, pesquisas realizadas no Brasil e na Finlândia demonstraram que 89% do carbono fresco sedimentado diariamente retorna para a coluna d'água em forma de CO₂ e CH₄. Os sedimentos dos reservatórios são compostos por solo pré-inundação e por materiais

assentados após a inundação, e apresentam uma distribuição espacial bastante heterogênea (IHA, 2010).

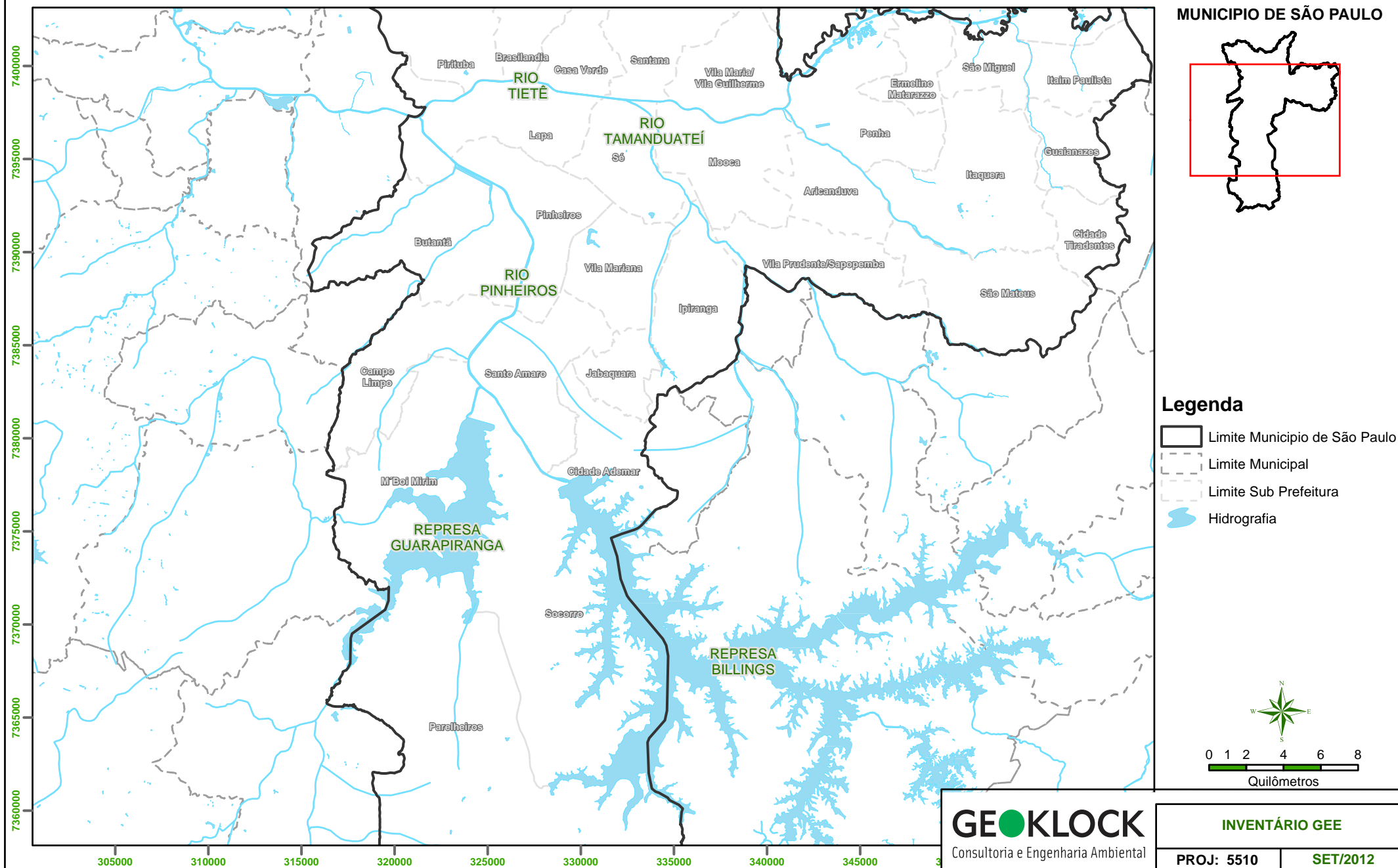
O conhecimento de alguns parâmetros que influenciam nos processos de emissão dos gases auxilia na predição do comportamento do reservatório e a vulnerabilidade de crescimento das emissões. Alguns dos parâmetros-chaves que controlam as taxas de emissões são: a concentração de oxigênio dissolvido, a temperatura da água, a matéria orgânica armazenada na água e no sedimento, a biomassa, a estratificação do reservatório, entre outros. Também são importantes os parâmetros que influenciam as trocas gasosas entre a atmosfera e o reservatório: velocidade do vento, precipitação, temperatura da água, entre outros (IHA, 2010).

O monitoramento dos reservatórios deve compreender, ainda, a variabilidade espacial e temporal. Para isso, a determinação dos pontos de monitoramento deve considerar o formato do reservatório, o número de afluentes e o grau de precisão e confiabilidade que se deseja; e os intervalos de amostragem devem ser ajustados com base nas características temporais do local, visando incluir a variação diária, sazonal e anual das emissões, ponderando-se os custos-benefícios dessa abrangência temporal. A frequência de amostragem também deve considerar a idade dos reservatórios.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS

Os corpos hídricos amostrados para a verificação das contribuições de emissões de GEE foram as represas Billings e Guarapiranga e os rios Pinheiros, Tamanduateí e Tietê, principais corpos hídricos do Município, apresentados a seguir. A Figura 2 apresenta a localização dos corpos hídricos no município de São Paulo.

Figura 2: CORPOS HÍDRICOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO



3.1. Represa Billings

A represa Billings é o maior reservatório de água da RMSP. Sua bacia hidrográfica possui área de aproximadamente 583 km², compreendendo parte dos municípios de Diadema, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Paulo (CAPOBIANCO, 2002). O espelho d'água desta represa é de 108 km² (SMA, 2012), sendo que a superfície entre o Rio Pinheiros até a barragem Anchieta é de 49,4 km², verificado pela análise de imagens de satélite do ano de 2009.

A Represa Billings foi concebida em 1927, com a construção da barragem de Pedreira para represar o Rio Grande, também conhecido como Rio Jurubatuba. Essa represa foi construída com finalidade de geração de energia elétrica na Usina Hidrelétrica de Henry Borden. Nos anos 40, a fim de aumentar a vazão da represa para ampliar o potencial de geração de eletricidade, parte da vazão do Rio Tietê e de seus afluentes foram desviados para a represa, através da transposição do rio Pinheiros. Porém, após alguns anos da implantação desta reversão problemas ambientais começaram a surgir, comprometendo a qualidade da água utilizada para abastecimento público da região do ABC. Então, em 1982 foi construída a Barragem Anchieta para segregar as águas do Braço do Rio Grande, que recebe parte das águas do Rio Tietê, do restante da Represa para que a parte da represa utilizada no abastecimento de água do ABC não fosse contaminada. Em 1993, o governo proibiu definitivamente o bombeamento das águas do rio Tietê para a Represa, com exceção para os casos de controle de enchentes, que ocorrem até hoje (NISHIMURA, 2008 e CAPOBIANCO, 2002).

Além disso, esta bacia enfrenta o desmatamento de sua vegetação nativa devido à ocupação antrópica, como residências, mineradoras e lixões. Ainda assim, segundo o levantamento realizado pelo Instituto Socioambiental – ISA no ano de 1999, esta bacia se mostrava mais preservada que a Guarapiranga, com 53% de sua área ainda coberta por vegetação natural. Esses tipos de ocupação também contribuem para a degradação da qualidade da água da represa por meio de contribuições pontuais como o despejo de esgotos e contribuições difusas como contaminação do solo por chorume gerado nos lixões que é carregado até atingir a represa ou o lençol freático (CAPOBIANCO, 2002).

A CETESB monitora 11 pontos na represa Billings, sendo 5 pontos da rede básica, 3 de balneabilidade, 2 de monitoramento automático e 1 de sedimento. Para os pontos de

monitoramento básico a CETESB apresenta quatro indicadores de qualidade, o IQA – Índice de Qualidade da Água, o IAP – Índice de qualidade de água para fins de Abastecimento Público, o IET – Índice de Estado Trófico e o IVA – Índice de qualidade de água para a proteção da Vida Aquática. De acordo com o relatório de qualidade das águas, publicado anualmente pela CETESB, no ano de 2011 a qualidade da água deste reservatório foi classificada como boa e ótima em relação aos parâmetros analisados pelo IQA. Para o IAP, o ponto que fica no Braço do Taquacetuba, próximo à captação de água da Estação de Tratamento de Água – ETA, apresentou qualidade boa. Para o índice de qualidade IET, os pontos amostrados foram classificados como Mesotrófico, Eutrófico e Supereutrófico. Em relação ao IVA, os pontos de monitoramento foram indicados com qualidade regular e ruim. A poluição das águas deste reservatório deve-se principalmente ao bombeamento das águas do rio Pinheiros e a ocupação antrópica na bacia.

3.2. Represa Guarapiranga

A bacia hidrográfica da represa Guarapiranga possui área de drenagem de 639 km² e compreende, parcialmente ou totalmente, os municípios de Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra e São Paulo (CUNHA e WHATELY, 2006). O espelho d'água desta represa é de 26 km² (SMA, 2012) e está situado em grande parte no Município de São Paulo.

A represa Guarapiranga foi originada em 1909, com a finalização da construção da barragem, pelo represamento do rio Guarapiranga. A área inundada pela represa foi de 34 km², com um perímetro de 85 km. Inicialmente, a finalidade deste represamento era de geração de energia elétrica. A partir de 1928, tornou-se a principal fonte de água para abastecimento público e hoje abastece 20% da população da RMSP e é o segundo maior sistema de abastecimento de água da região, sendo o primeiro o sistema Cantareira (CUNHA e WHATELY, 2006; MANANCIAS, 2012 e SABESP, 2012).

Os principais rios afluentes são o Embu-Mirim, Embu-Guaçu e Parelheiros. Porém, para suprir a demanda de água da represa existem dois sistemas de transposição de água de outras bacias hidrográficas, os sistemas do Rio Capivari e o do Braço da represa Billings.

Desde a década de 1920 o entorno da Represa vem sofrendo com a ocupação urbana. Em meados de 1980, começaram a surgir problemas ambientais relacionados ao uso antrópico na região, como a floração de algas pelo excesso de matéria orgânica proveniente dos despejos de esgoto na represa e a mortandade de peixes. No ano de 2000, constatou-se pela realização do Censo que 30% dos domicílios existentes na bacia da represa do Guarapiranga ainda despejam seus esgotos diretamente em valas ou corpos hídricos, comprometendo ainda mais a qualidade da água. Ainda devido à ocupação antrópica, no ano de 2003, apenas 37% de sua área era coberta por vegetação nativa (CUNHA e WHATELY, 2006 e MANANCIAS, 2012).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB monitora a qualidade da água em 10 pontos da represa Guarapiranga, sendo 2 pontos da rede básica de monitoramento, 6 pontos de balneabilidade, 1 de monitoramento automático e 1 de sedimento. Em determinados pontos, a orla da represa é utilizada como área de recreação e lazer, por isto são monitoradas a qualidade da água em relação à balneabilidade desses locais, denominados praias interiores. No ano de 2011, de acordo com o relatório da CETESB (2012), os dois pontos monitorados apresentaram qualidade Boa em relação aos parâmetros analisados no IQA e IAP. Porém, esses mesmos pontos foram classificados em relação ao seu estado de trofia como Mesotrófico e Supereutrófico devido à alta concentração de fósforo e nitrogênio; e em relação ao IVA, os pontos monitorados foram classificados como Regular e Ruim.

3.3. Rios

Os rios Pinheiros, Tamandateí e parte do Tietê estão inseridos na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI-06, denominada bacia do alto Tietê. Esta UGRHI tem uma área de drenagem de 5.650 km² e compreende, parcialmente ou totalmente, 36 municípios da RMSP, dos quais faz parte o Município de São Paulo (SÃO PAULO (Estado), 2012).

Esta UGRHI é altamente urbanizada e, devido principalmente ao despejo de efluentes domésticos e industriais sem tratamento prévio diretamente nos corpos hídricos, a qualidade de suas águas encontra-se degradada. Os corpos receptores dos efluentes, tratados ou não, do Município de São Paulo são os rios Pinheiros, Tamandateí e Tietê (CETESB, 2012).

3.3.1. Rio Pinheiros

O Rio Pinheiros está localizado no Município de São Paulo, tem extensão de 25 km e uma largura média de 85 m, começa após a represa Billings e deságua no rio Tietê. Em meados de 1940 o fluxo do rio Pinheiros foi alterado, com o bombeamento de suas águas para a represa Billings com a finalidade de aumentar o potencial de geração de energia elétrica na usina Henry Borden. Desde 1993 a reversão do curso do rio Pinheiros não é mais permitida, exceto em casos de controle de enchente.

Após todas as intervenções realizadas no curso do rio Pinheiros, este atualmente é considerado um canal com declividade teórica zero, fazendo com que o escoamento de suas águas seja bastante lento, o que dificulta os processos de aeração e autodepuração do rio (CAVALCANTI, 2012).

Desde 1940 o rio Pinheiros vem sofrendo com os problemas ambientais, causados principalmente pela poluição decorrente do despejo de efluentes domésticos e industriais *in natura* neste corpo hídrico. Atualmente a qualidade da água do Rio Pinheiros está bastante comprometida, sendo considerada geralmente de ruim a péssima (ÁGUAS CLARAS DO RIO PINHEIROS, 2012 e CETESB, 2012).

3.3.2. Rio Tamanduateí

O Rio Tamanduateí nasce no Município de Mauá, passando por Santo André e São Caetano até chegar ao Município de São Paulo. Neste ponto, a qualidade das águas do Tamanduateí já está bastante comprometida, se agravando ainda mais devido aos grandes volumes de efluentes lançados neste corpo hídrico. Segundo CORREIA (2009), 75% do volume do rio referem-se aos efluentes domésticos ou industriais nele lançado.

De acordo com a CETESB (2012), a qualidade da água do Rio Tamanduateí no ano de 2011 foi classificada como péssima. O Tamanduateí é um afluente do Rio Tietê e por estar bastante poluído contribui negativamente para a qualidade das águas do Rio Tietê.

3.3.3. Rio Tietê

O Rio Tietê nasce no Município de Salesópolis, próximo a Serra do Mar, e segue rumo ao interior do Estado de São Paulo até desaguar no rio Paraná. Sua extensão é de 1.100 km.

O trecho que atravessa o Município de São Paulo tem extensão de 26 km e largura de 50 m. Neste trecho o Rio Tietê é extremamente poluído, devido ao grande despejo de efluentes domésticos e industriais sem tratamento no município de São Paulo e também pelos municípios à montante, além da contribuição dos seus afluentes que também se encontram poluídos. A qualidade de suas águas é considerada péssima.

4. MÉTODOS E DADOS

A seguir são descritos os métodos utilizados para as medições das emissões e os dados obtidos.

4.1. Campanhas de medição

De acordo com o guia da UNESCO/IHA (2010), uma série de fatores deve ser considerado para determinar a resolução temporal das amostragens, como, por exemplo, as variações climáticas, regime de precipitações, variações de temperatura e de intensidade da luz, entre outras. Neste trabalho, a etapa de medições de emissão de gases de efeito estufa nos corpos hídricos foi realizado em 4 campanhas, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Campanhas de medição

Campanha	Data
Represas – Período Chuvoso	13 e 14 de fevereiro de 2012
Represas – Período Seco	17 e 18 de julho de 2012
Rios – Período Intermediário	08 e 09 de maio de 2012
Rios – Monitoramento mensal	Fevereiro a Setembro de 2012

Na campanha de medições referente aos períodos chuvoso e seco realizado nos reservatórios do Município de São Paulo foram medidas as emissões ebulitivas, as emissões difusivas e o carbono sedimentado nos reservatórios, além de dados de temperatura, profundidade e velocidade do vento.

A campanha dos rios foi realizada no mês de maio e, em paralelo, para verificar o comportamento ao longo do ano, foi realizado um monitoramento mensal de dois pontos do rio Tietê entre fevereiro e setembro, através de medições de concentração de CO₂ e CH₄ na água. Esta é forma de medir indiretamente a emissão destes gases, descrito mais adiante.

4.2. Pontos de Coleta

De acordo com UNESCO/IHA *apud* IHA (2010), os pontos de monitoramento devem ser distribuídos de forma que retratem as diferentes regiões e os principais processos de cada corpo

hídrico. Desta forma, para determinar os pontos de monitoramento dos reservatórios foram considerados os seguintes critérios: na entrada do afluente principal do reservatório e nos demais afluentes; ao longo do eixo longitudinal do reservatório; e próximo à barragem do reservatório. Para os rios, os pontos de monitoramento foram baseados nos critérios análogos.

No Quadro 2 são apresentados os locais determinados para as medições e os pontos amostrados nas campanhas de medição dos GEE.

Quadro 2 – Localização dos pontos de amostragem de emissão difusiva

Ponto	Descrição	Pontos
Represa Billings	Próximo à barragem com Rio Pinheiros	BCD1; BCE1; BCE1a; BCE2; BSD1; BSE1; BSS1
	Meio da represa, próximo à ponte do Rodoanel	BCD2; BCD2a; BCD4; BCD5; BCD6; BCD7; BCE3; BCS1; BSD2; BSE2; BSS2
	"Braço" sul da represa, dentro do Município de São Paulo	BCD5; BCD6; BCD7; BCE3; BCS1; BSD2; BSE2; BSS2; BCD3; BSD3; BSD3a
Represa Guarapiranga	Próximo à barragem com Rio Pinheiros	GCD1; GCE1; GCE2; GCS1; GSD1; GSE1; GSS1
	Meio da represa	GCD2; GCD2b; GCE3; GCE4; GCS2; GSD2; GSE2; GSS2
	"Braço" sul da represa, afluente via Embu-Guaçu	GCD3; GCD4; GSD3; GSS3
Rio Pinheiros	Entre a desembocadura no rio Tietê e a Barragem do Bom Retiro	PID1; PIE1; PIE2; PIS1
	Em frente à usina elevatória de Traição, ao lado da estação Vila Olímpia	PID2
	À montante da usina elevatória de Traição	PID3
Rio Tamanduateí	Aproximadamente 50m à montante de sua confluência com o rio Tietê	TID3
Rio Tietê	Próximo ao porto das dragas no Parque Ecológico	TID2; TIE1
	À jusante da desembocadura do rio Tamanduateí	TID1; TIS1
	Próximo ao Cebolão	TID4; TIE2; TIE3; TIS2
	À jusante da ETE de Barueri	TID5

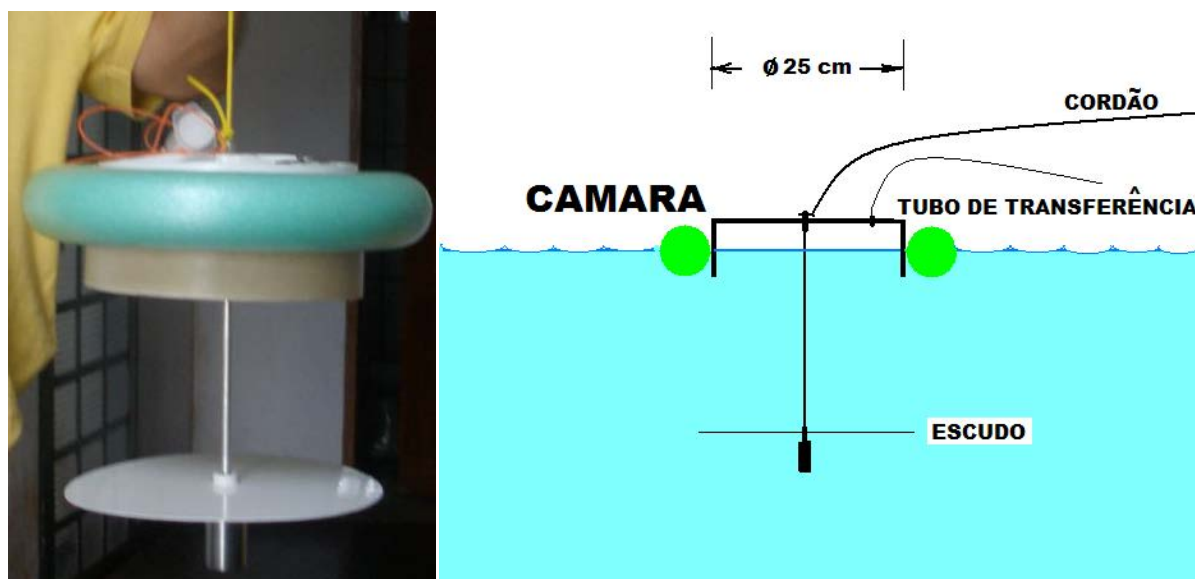
4.3. Medições

A seguir são descritos os métodos e as medições realizadas nas campanhas dos corpos hídricos.

4.3.1. Emissão difusiva

O procedimento aplicado na coleta das amostras de gás para determinar as taxas de emissão difusiva é apresentado a seguir.

As amostras foram coletadas através do dispositivo denominado câmara de difusão. Esse dispositivo, ilustrado na Figura 3, consiste em um escudo, uma haste com peso e uma câmara, que é circundada por uma boia e possui uma escotilha com tampa para a saída do ar e um tubo de transferência com uma seringa acoplada, que permite a coleta das amostras.



Fonte: CONSTRUMAQ, 2012.

Figura 3 – Câmara de difusão

A câmara de difusão foi baixada sobre a água com a escotilha aberta, para que o excesso de ar pudesse escapar. Esta escotilha é então fechada com cuidado para que o volume de ar não seja alterado, iniciando-se assim a retirada das amostras.

Com o auxílio da seringa foram coletadas quatro amostras de gases, contendo 40 mL cada, nos tempos 0, 1, 2 e 4 minutos, que de acordo com IHA (2010) é a quantidade mínima de amostras

para que se possa aplicar a regressão entre o tempo e a concentração de gás. Antes de cada coleta foi realizada a “purga” com o próprio ar da câmara, aspirando 10 mL e devolvendo-o a câmara.

Estas amostras gasosas foram levadas para o laboratório para quantificar as concentrações de CO₂ e CH₄ por meio de análise cromatográfica. A partir destes dados foram calculadas para cada ponto amostrado as emissões difusivas, que são baseadas no ajuste linear das quatro medidas realizadas para cada ponto, ou pelo ajuste exponencial para os casos em que houve saturação do gás na câmara. A saturação do gás na câmara é observada quando há uma diminuição na taxa de aumento da concentração do gás dentro da câmara no decorrer dos 4 minutos de amostragem. Para ilustrar a diferença entre os ajustes aplicados, no gráfico da Figura 4 são apresentados os dois casos possíveis, quando há a saturação do gás na câmara (ajuste exponencial) e quando não ocorre a saturação (ajuste linear).

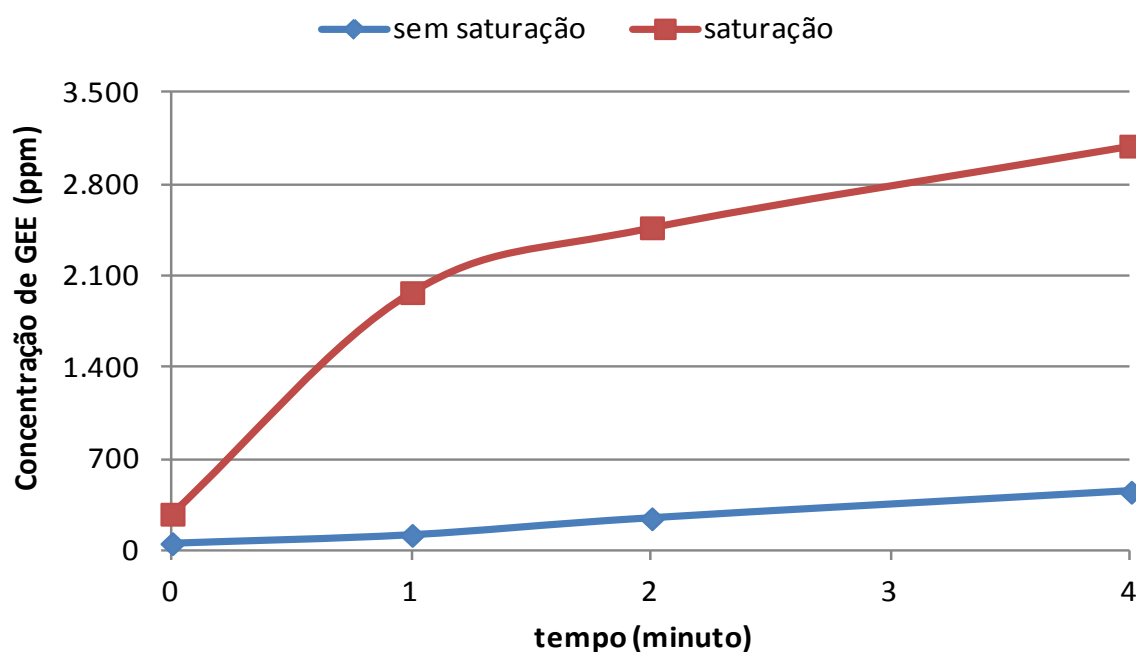


Figura 4 – Emissão difusiva com ou sem saturação da câmara

Como pode ser observado na Figura 4, quando ocorre a saturação de um gás na câmara de difusão a taxa de aumento da concentração deste gás apresenta uma diminuição ao longo do tempo, por isto, o ajuste exponencial é o que melhor se aplica neste caso. O comportamento da curva de concentração é o que determina a aplicação do ajuste linear ou exponencial. Os coeficientes de correlação (R^2) e a variabilidade (S) indicam a compatibilidade entre os valores

experimentais e as equações de ajuste, sendo que quanto mais próximo de 1 for o R^2 e quanto mais próximo de 0 for o S , melhores são as aproximações.

As concentrações de CH_4 e CO_2 obtidas pelas análises cromatográficas bem como sua equação de ajuste são apresentados no Apêndice A. Os valores de emissão difusiva nas câmaras obtidos para cada ponto de amostragem através das equações de ajuste são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Emissão difusiva de CH_4 e CO_2

Local	Período	Ponto	Emissão difusiva CH_4	Emissão difusiva CO_2
			(ppm/min)	(ppm/min)
Billings	Chuvoso	BCD1	2,8	212
		BCD2	0,1	36
		BCD2a	0,7	-103
		BCD3	0,1	-55
		BCD4	14,4	-73
	Seco	BSD1	0,63	206
		BSD2	0,0007	73,4
		BSD3	35	-9,29
		BSD3a	0,804	124
		Guarapiranga	Chuvoso	GCD1
GCD2	2,1			239
GCD2b	0,8			155
GCD3	0,7			90
Seco	GSD1		0,41	221,1
	GSD2		0,69	311
	GSD3		311	88,3
Pinheiros	Intermediário	PID1	2.312,5	517
		PID2	2.825	396,3
		PID3	169	233
Tamanduateí	Intermediário	TID3	56,8	496,1
Tietê	Intermediário	TID1	42,3	314
		TID2	101	432
		TID4	67,9	236
		TID5	58,4	391

A partir dos dados de emissão difusiva foram obtidas as taxas de emissão para cada GEE em cada ponto de amostragem conforme descrito na Equação 1.

$$Em = \frac{m \cdot ed \cdot 1.440 \cdot 10^3}{A_c}$$

Equação 1 – Taxa de emissão dos GEE

onde

<i>Em</i>	Taxa de emissão dos GEE	[mgGEE/m ² .d]
<i>m</i>	Massa do GEE em 1 ppm da amostra	[gGEE/ppm]
<i>ed</i>	Emissão difusiva	[ppm/min]
<i>1.440</i>	Número de minutos em 1 dia	[min/d]
<i>10³</i>	Conversão de g para mg	[mg/g]
<i>A_c</i>	Área de amostragem da câmara de difusão	[m ²]

Sendo que a área de amostragem da câmara de difusão (*A_c*) é de 0,047 m² e os dados de emissão difusiva utilizados foram os apresentados na Tabela 1.

Para se determinar a massa de CO₂ ou CH₄ presente em 1 ppm da amostra coletada foi aplicada a Equação 2.

$$m = \frac{P \cdot M \cdot \frac{V_c}{10^6}}{62,4 \cdot T}$$

Equação 2 – massa de GEE presente em 1 ppm da amostra

onde

<i>m</i>	Massa do GEE em 1 ppm	[gGEE/ppm]
<i>P</i>	Pressão no momento da análise	[mmHg]
<i>M</i>	Massa molar	[gGEE/mol]
<i>V_c</i>	Volume da câmara de difusão	[L]
<i>10⁶</i>	Parte por milhão	[ppm]
<i>62,4</i>	Constante dos gases	[mmHg.L/mol.K]
<i>T</i>	Temperatura no momento da análise	[K]

Sendo que o volume da câmara de difusão (*V_c*) utilizada nas amostragens era de 1L e que, no laboratório, as condições de temperatura (*T*) era de 298,2 K e de pressão (*P*) era de 706,8 mmHg. Com a massa molar do CH₄ (16 g/mol) e do CO₂ (44 g/mol) obtiveram-se as taxas de emissão de CH₄ e CO₂ por ponto amostrado.

Para o óxido nitroso (N₂O) não foram realizadas análises laboratoriais para esse parâmetro, nas amostras coletadas. As emissões difusivas deste gás foram estimadas a partir das medianas das razões entre as emissões ebulitivas de N₂O e de CH₄ obtidas, assumindo-se que são válidas para as emissões difusivas, uma vez que as condições anóxicas que favorecem a geração de CH₄ também favorecem a geração de N₂O. Para a represa Billings, a razão N₂O / CH₄ é de 0,005 no período chuvoso e de 0,178 no período seco. Para a Guarapiranga, as razões são 0,081 (chuvoso) e 0,181 (seco). Para os rios, a mesma razão de 0,002 foi obtida.

Cabe lembrar que, conforme citado no item 2, a contribuição do N₂O nas emissões de GEE pode ocorrer na faixa de 0 a 30% em áreas tropicais (Guérin *apud* IHA, 2010). As razões obtidas nas emissões ebulitivas (0,5% a 18,1%) estão dentro desta faixa.

As taxas de emissão, ou emissão difusiva, de CH₄, CO₂ e N₂O são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Taxa de emissão de CH₄, CO₂ e N₂O

Local	Período	Ponto	Taxa de emissão de CH ₄ (mgCH ₄ /m ² .d)	Taxa de emissão de CO ₂ * (mgCO ₂ /m ² .d)	Taxa de emissão de N ₂ O** (mgN ₂ O/m ² .d)
Billings	Chuvoso	BCD1	53,0	10.990	0,27
		BCD2	1,8	1.854	0,01
		BCD2a	13,5	-5.229	0,07
		BCD3	1,5	-2.871	0,01
	BCD4	270,0	-3.776	1,37	
	Seco	BSD1	11,9	10.661	2,12
		BSD2	0,1	3.798	0,02
		BSD3	6,6	-481	1,17
BSD3a		14,9	6.385	2,65	
Guarapiranga	Chuvoso	GCD1	34,0	4.303	2,75
		GCD2	39,1	10.875	3,17
		GCD2b	15,3	7.936	1,24
	GCD3	14,0	4.647	1,13	
	Seco	GSD1	7,7	11.348	1,39
		GSD2	13,0	16.094	2,35
GSD3		18,1	4.570	3,27	
Pinheiros	Intermediário	PID1	43.244	26.563	69,9
		PID2	52.328	20.156	84,6
		PID3	3.132	11.867	5,06

Local	Período	Ponto	Taxa de emissão de CH ₄ (mgCH ₄ /m ² .d)	Taxa de emissão de CO ₂ * (mgCO ₂ /m ² .d)	Taxa de emissão de N ₂ O** (mgN ₂ O/m ² .d)
Tamanduateí	Intermediário	TID3	1.062	25.486	1,90
		TID1	791	16.133	1,41
Tietê	Intermediário	TID2	1.889	22.196	3,37
		TID4	1.270	12.126	2,27
		TID5	1.092	20.090	1,95

*sinal negativo indica que houve absorção

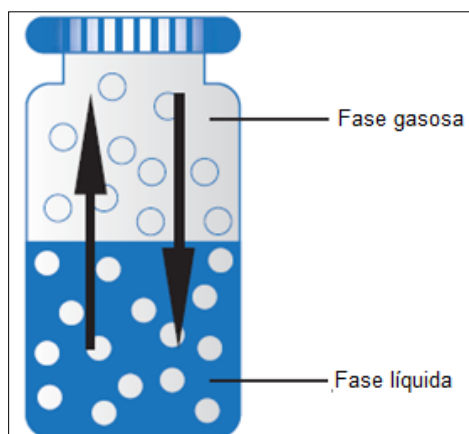
**taxa de emissão de N₂O estimado proporcionalmente à emissão de CH₄, conforme apresentado anteriormente.

4.3.2. Dessorção

A medida de dessorção, que quantifica a concentração de gases na água, é uma forma indireta de estimar as emissões difusivas, que ocorrem através de um equilíbrio entre a interface água e ar. De acordo com a IHA (2010), é importante registrar as concentrações dos gases na água, uma vez que a liberação dos gases dissolvidos corresponde à emissão difusiva, que é uma das vias de emissão dos reservatórios e rios. O monitoramento regular da concentração dos gases na água também pode contribuir na determinação das emissões difusivas, principalmente em dias com muito vento, quando não é possível realizar a medição dessas emissões diretamente por câmaras de difusão. Então, para complementar o estudo das emissões difusivas dos corpos hídricos foram medidas as concentrações dos gases dissolvidos na água por dessorção.

Para coletar as amostras de água utilizou-se um frasco, a temperatura da água foi medida para posterior utilização no cálculo das concentrações de gases dissolvidos. Com uma seringa coletou-se 45 mL dessa amostra.

Utilizando-se um tubo de transferência acoplado em uma garrafa contendo nitrogênio (N₂) e na seringa contendo a amostra de água, transferiram-se 15 mL de nitrogênio. Esta mistura de água e nitrogênio foi agitada durante 2 minutos a fim de promover a dessorção dos gases presentes na amostra de água para a fase gasosa, por meio das trocas entre o meio líquido e gasoso, conforme apresentado na Figura 5. A mistura de gases foi então extraída e enviada ao laboratório para análise por cromatografia e assim, determinadas as concentrações de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄).



Fonte: IHA, 2010

Figura 5 – Dessorção dos gases para a fase gasosa

A Tabela 3 apresenta as concentrações de CO₂ e CH₄ dissolvidos nas amostras de água coletadas, medidas por dessorção.

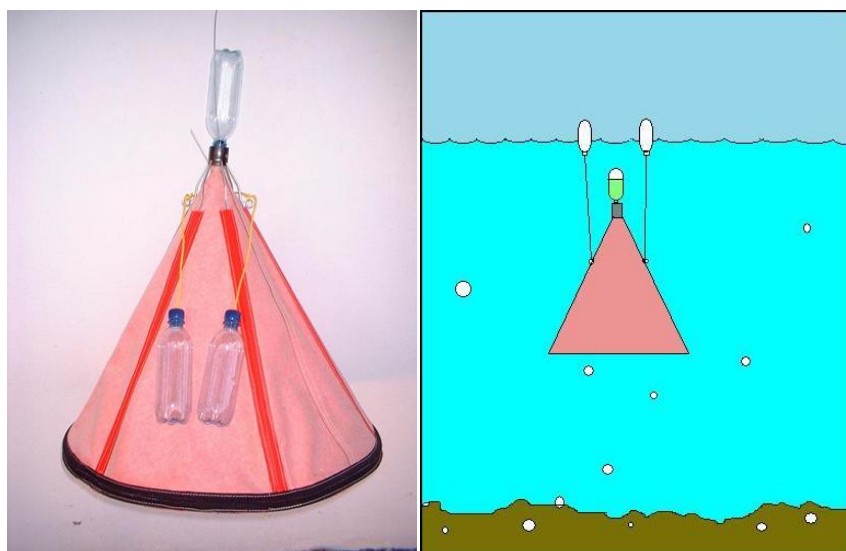
Tabela 3 – Concentração de GEE dissolvido nas amostras de água

Local	Período	Ponto	Concentração na água ($\mu\text{M CH}_4$)	Concentração na água ($\mu\text{M CO}_2$)		
Billings	Chuvoso	BCD1	0,214	160		
		BCD2	0,0649	62		
		BCD2a	0,108	10		
		BCD3	0,0704	13		
		BCD4	0,651	15		
		BCD5	0,192	12		
		BCD6	0,0589	8		
	Seco	BCD7	0,0797	24		
		BSD1	0,292	111		
		BSD2	0,0268	62		
		BSD3	0,107	33		
		BSD3a	0,0581	31		
		Guarap.	Chuvoso	GCD1	0,269	46
				GCD2	0,592	83
GCD2b	0,0386			72		
GCD3	0,312			53		
Seco	GCD4		0,209	90		
	GSD1		0,0459	81		
	GSD2		0,0945	84		
		GSD3	0,189	47		

Local	Período	Ponto	Concentração na água ($\mu\text{M CH}_4$)	Concentração na água ($\mu\text{M CO}_2$)
Pinheiros	Intermed.	PID1	172	464
		PID2	236	389
		PID3	189	366
Tietê	Intermed.	TID1	70	399
		TID4	27,4	220
		TID5	66,9	430

4.3.3. Emissão ebulitiva

As amostras de emissão ebulitiva foram coletadas utilizando-se funis coletores, que servem para capturar as bolhas que se desprendem do sedimento. A Figura 6 ilustra o funil coletor e a utilização do mesmo em um ponto de amostragem.



Fonte: CONSTRUMAQ, 2012

Figura 6 – Funil de captura de bolhas

Para coletar as amostras de gases por emissão ebulitiva, os funis coletores são imersos na água e ficam suspensos por duas boias. O topo do funil fica a uma profundidade de 30 a 40 cm, conforme ilustrado pela Figura 6. No topo do funil foi acoplado um frasco graduado, que inicialmente foi preenchido com água. As bolhas que são captadas pela área do funil sobem até o frasco, deslocando a água que estava em seu interior. Após 24 horas de amostragem, o volume do gás captado foi medido e uma alíquota encaminhada para análise no laboratório.

No laboratório foram determinadas as concentrações dos gases oxigênio (O₂), nitrogênio (N₂), dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) por cromatografia. As concentrações dos gases presentes na amostra e as informações da coleta são apresentadas no Apêndice B.

A partir destas concentrações foram quantificadas as taxas de emissão ebulitiva do CO₂, CH₄ e N₂O. Para os gases CO₂ e CH₄, as taxas de emissão ebulitiva foram determinadas de acordo com o apresentado pela Equação 3.

$$Eb_G = \frac{m_G \cdot 24 \cdot 10^3}{n_{funis} \cdot A_{funil} \cdot t_{coleta}}$$

Equação 3 – Taxa de emissão ebulitiva dos GEE

onde

<i>E_b</i>	Taxa de emissão ebulitiva do gás G	[mgGEE/m ² .d]
<i>m</i>	Massa do gás G presente na amostra	[gGEE]
24	Número de horas no dia	[h/d]
10 ³	Conversão de g para mg	[mg/g]
<i>n_{funis}</i>	Número de funis utilizados na coleta da amostra	[funil]
<i>A_{funil}</i>	Área do funil utilizado na coleta da amostra	[m ² /funil]
<i>t_{coleta}</i>	Tempo de coleta da amostra	[h]
<i>G</i>	Tipo de GEE	

A área do funil utilizado na coleta da amostra (*A_{funil}*) era de 0,374 m². Os dados do número de funis utilizados na coleta da amostra (*n_{funis}*) e do tempo de coleta (*t_{coleta}*) para cada ponto amostrado foram apresentados na Tabela 17.

A massa de gás G (*m*) presente na amostra foi determinada aplicando-se a Equação 4.

$$m_G = n_G \cdot M_G$$

Equação 4 – Massa de gás na amostra

onde

<i>m_G</i>	Massa de gás G presente na amostra	[gGEE]
<i>n</i>	Número de mols do gás G na amostra	[mol]
<i>M</i>	Massa molar do gás G	[gGEE/mol]

Sabendo-se que a massa molar do dióxido de carbono (CO₂) é de 44 g/mol, de nitrogênio (N₂) é de 28 g/mol e do metano (CH₄) é de 16 g/mol. O número de mols de CO₂ e de CH₄ presentes na amostra é quantificado através de informações da pressão, temperatura e volume do gás, conforme descrito na Equação 5.

$$n_G = \frac{P \cdot V_G}{62,4 \cdot T} \quad \text{Equação 5 – Número de mol do gás G presente na amostra coletada}$$

onde

n_G	Número de mol do gás G presente na amostra	[mol]
P	Pressão no momento da análise	[mmHg]
V_G	Volume de gás G presente na amostra	[L]
62,4	Constante dos gases	[mmHg.L/mol.K]
T	Temperatura no momento da análise	[K]

Durante a análise as condições de pressão (P) e de temperatura (T) no laboratório eram de 706,8 mmHg e 298,2 K, respectivamente.

Os volumes dos gases CO₂ e CH₄ presente nas amostras coletadas foram determinados conforme apresentado pela Equação 6.

$$V_G = V_{col} \cdot C_G \quad \text{Equação 6 – volume de gás G presente na amostra}$$

onde

V_G	Volume de gás G presente na amostra	[L]
V_{col}	Volume da amostra coletada	[L]
C_G	Concentração do gás G na amostra	[%]

Sendo que os dados de volume de amostra coletada (V_{col}) e da concentração do gás G na amostra foram apresentados na Tabela 17.

Para estimar as emissões ebulitivas de N₂O tomou-se como base as proporções observadas por MATVIENKO *et al* (Projeto Balanço de Carbono em Represas de Furnas do ano de 2003 a

2007, dados não publicados), o qual descreve que as emissões de nitrogênio (N_2) ebulitivo tendem a ser aproximadamente 100 vezes maiores que as emissões ebulitivas de N_2O , ambas originárias das reações de desnitrificação e fixação do nitrogênio.

Então, sabendo-se que o N_2O ebulitivo (estimado através da emissão de N_2) origina-se das reações de desnitrificação e fixação do N_2 e havendo também uma contribuição de N_2 proveniente do equilíbrio ar-água, a amostra de gás ebulitivo coletado pelos funis é composta por uma proporção destas duas fontes, ou seja, de N_2 das reações de desnitrificação (emissão alvo de estudo) e de N_2 proveniente da troca entre o ar e a água, fazendo-se necessário estimar esta proporção de N_2 .

Sabe-se que no ar ambiente a proporção entre O_2 e N_2 é de 22% e de 78%, respectivamente. Desta forma, para se determinar a proporção de N_2 coletado na amostra que é resultante do equilíbrio do gás com o ar foi aplicada a Equação 7.

$$P_N = \frac{78\% * C_{O_2}}{22\%}$$

Equação 7 – Proporção de N_2 emitido para equilibrar a concentração do gás no ar

onde

P_N	Proporção de N_2 emitido por equilíbrio	[%]
78	Proporção de N_2 no ar	[%]
C_{O_2}	Concentração de O_2 na amostra coletada	[%]
22	Proporção de O_2 no ar	[%]

Sendo que os dados de concentração de oxigênio (C_{O_2}) nas amostras coletadas foram apresentados no Apêndice B.

Então, subtraindo-se da concentração de N_2 registrada na amostra da proporção de N_2 atrelada ao ar (via Equação 7), o valor restante representa a fração de N_2 proveniente das reações de desnitrificação. Deste valor considerou-se a centésima parte para determinar a emissão de N_2O ebulitivo. A partir deste ponto as emissões ebulitivas de N_2O são calculadas da mesma forma apresentada para as emissões ebulitivas de CO_2 e de CH_4 , apresentadas anteriormente.

As taxas de emissão ebulitiva de CO₂, CH₄ e N₂O quantificadas a partir das análises realizadas nas amostras coletadas são apresentadas na Tabela 4.

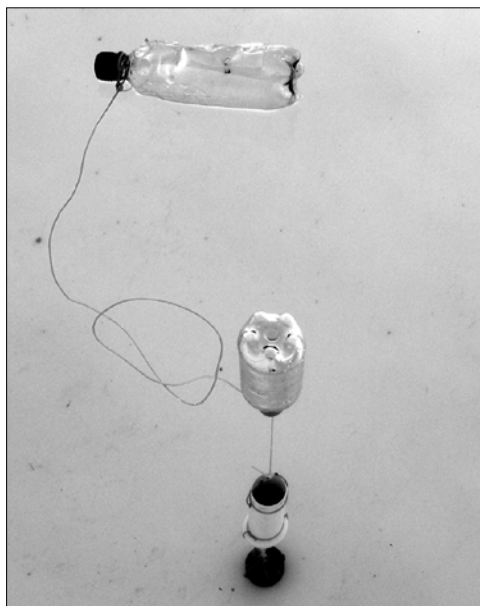
Tabela 4 – Taxas de emissão ebulitiva

Local	Período	Ponto	Profundidade	Taxa de emissão	Taxa de emissão	Taxa de emissão
			do ponto	ebulitiva de CO ₂	ebulitiva de CH ₄	ebulitiva de N ₂ O
			(m)	(mgCO ₂ /m ² .d)	(mgCH ₄ /m ² .d)	(mgN ₂ O/m ² .d)
Billings	Chuvoso	BCE1	6,6	400	3,40	2,10
		BCE1a	6,6	408	3,10	2,00
		BCE2	16,0	592	5,60	2,50
	Seco	BCE3	4,3	0,96	0,02	0,01
		BSE1	6,1	0,90	0,17	0,16
		BSE2	15,1	0,04	0,05	0,04
Guarapiranga	Chuvoso	BSE3	8,9	0,64	0,01	0,10
		GCE1	11,0	43,0	1,20	0,25
		GCE2	4,8	0,09	0,11	0,06
		GCE3	9,8	11,0	0,39	0,21
	Seco	GCE4	6,0	0,28	0,08	0,04
		GSE1	12,0	0,25	0,03	0,02
Rio Pinheiros	Intermed.	GSE2	9,0	0,14	0,07	0,04
		PIE1	3,0	52.048	22.248	19,3
Rio Tietê	Intermed.	PIE2	1,9	2.936	181	8,4
		TIE1	2,3	1.502	174	2,7
		TIE2	1,7	2.659	340	4,0
		TIE3	1,7	2.969	507	5,3

4.3.4. Sedimentação de carbono permanente

O carbono sedimentado nos corpos hídricos é composto predominantemente por carbono orgânico particulado e em menor parte por carbono orgânico dissolvido. Porém, grande parte do carbono sedimentado diariamente volta à coluna d'água em forma de CO₂, CH₄ e carbono orgânico dissolvido e apenas de 5 a 15% são incorporados permanentemente ao sedimento (IHA, 2010 e CONSTRUMAQ, 2012).

Para se determinar o carbono sedimentado foram utilizadas armadilhas de sedimentação com diâmetro de 72 mm e altura de 430 mm, ilustradas pela Figura 7.



Fonte: CONSTRUMAQ, 2012

Figura 7 – Armadilha de sedimentação

Antes das armadilhas serem submersas, a armadilha é preenchida com água filtrada com temperatura em torno de 15°C. Isto é necessário para que a água dentro da armadilha esteja inicialmente isenta de partículas e a baixa temperatura impede que as correntes de convecção levem partículas para a armadilha. Então, as armadilhas são instaladas com sua abertura a aproximadamente 1 metro acima do sedimento. Após 24 horas as armadilhas são içadas e seu conteúdo enviado ao laboratório.

Para determinar a massa de carbono presente no sedimento, as amostras coletadas foram filtradas em filtros de fibra de vidro de diâmetro nominal de 5 cm e porosidade de 0,45µm, para separar o carbono particulado do carbono dissolvido. Então o material retido no filtro foi analisado. Os resultados finais de sedimentação de carbono permanente são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Sedimentação de carbono nos corpos hídricos

Local	Período	Ponto	Profundidade (m)	Sedimentação de C permanente (mg/m ² .d)
Billings	Chuvoso	BCS1	15,0	77
		BSS1	6,1	353
	Seco	BSS2	15,1	847
		BSS3	8,9	622
Guarapiranga	Chuvoso	GCS1	11,0	240
		GCS2	9,3	118
	Seco	GSS1	12,0	385
		GSS2	9,0	323
		GSS3	6,9	59
Pinheiros	Intermediário	PIS1	3,0	271,5
Tietê	Intermediário	TIS1	4,0	892
		TIS2	1,7	81,1

4.3.5. Mapa das medições

Os dados e resultados das medições são apresentados nas figuras a seguir.

Figura 8: MEDIÇÕES NA REPRESA BILLINGS

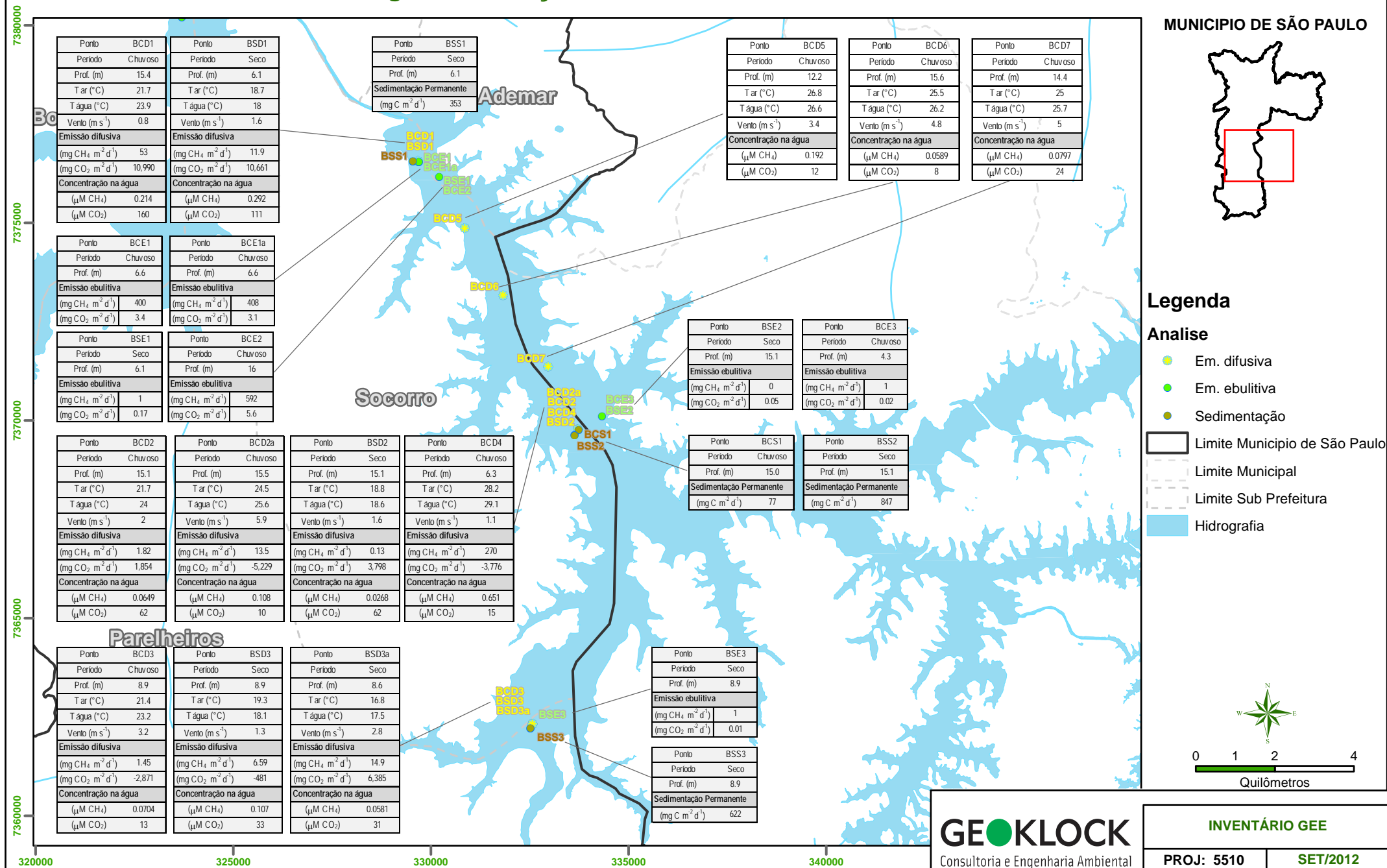


Figura 9: MEDIÇÕES NA REPRESA GUARAPIRANGA

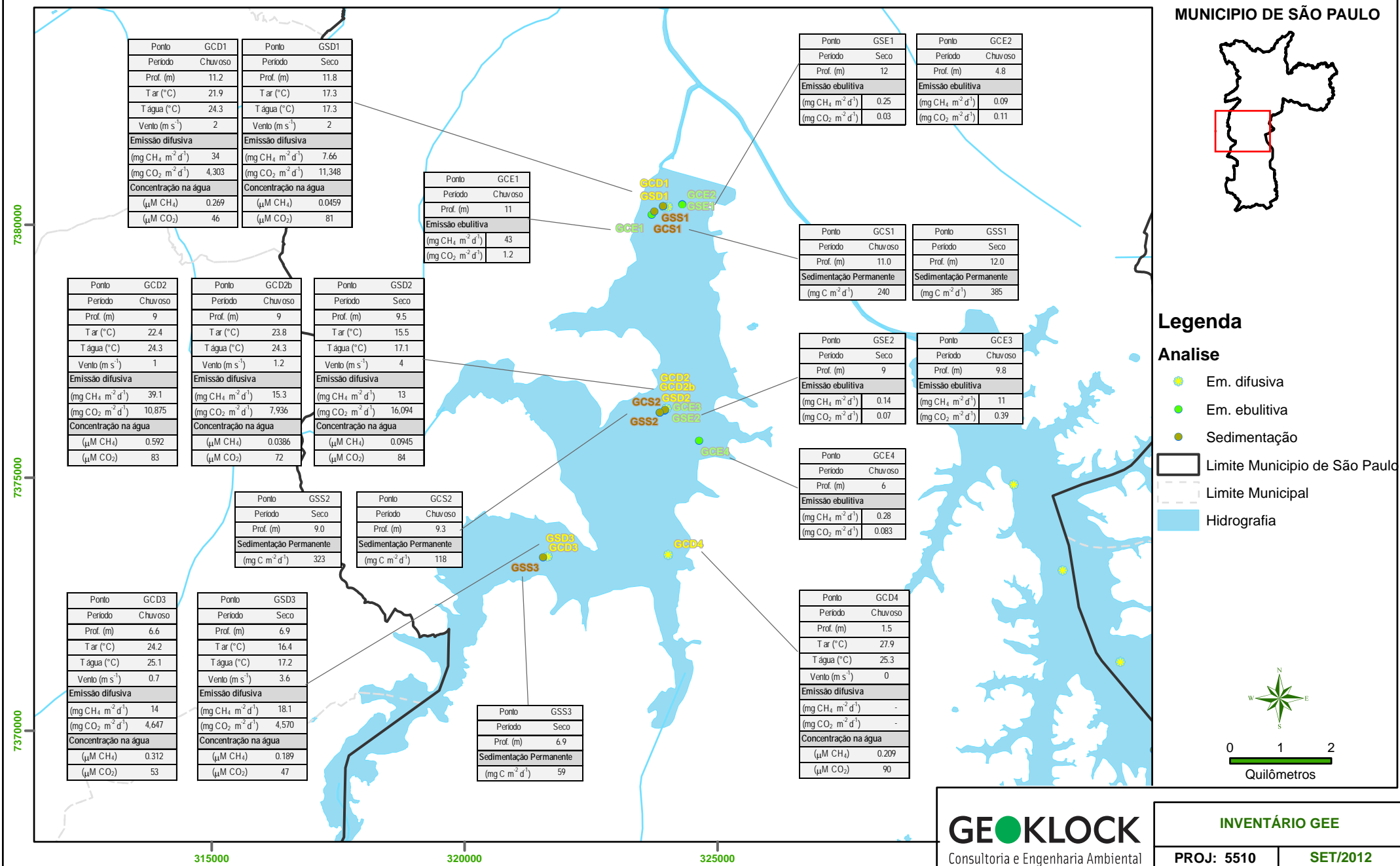
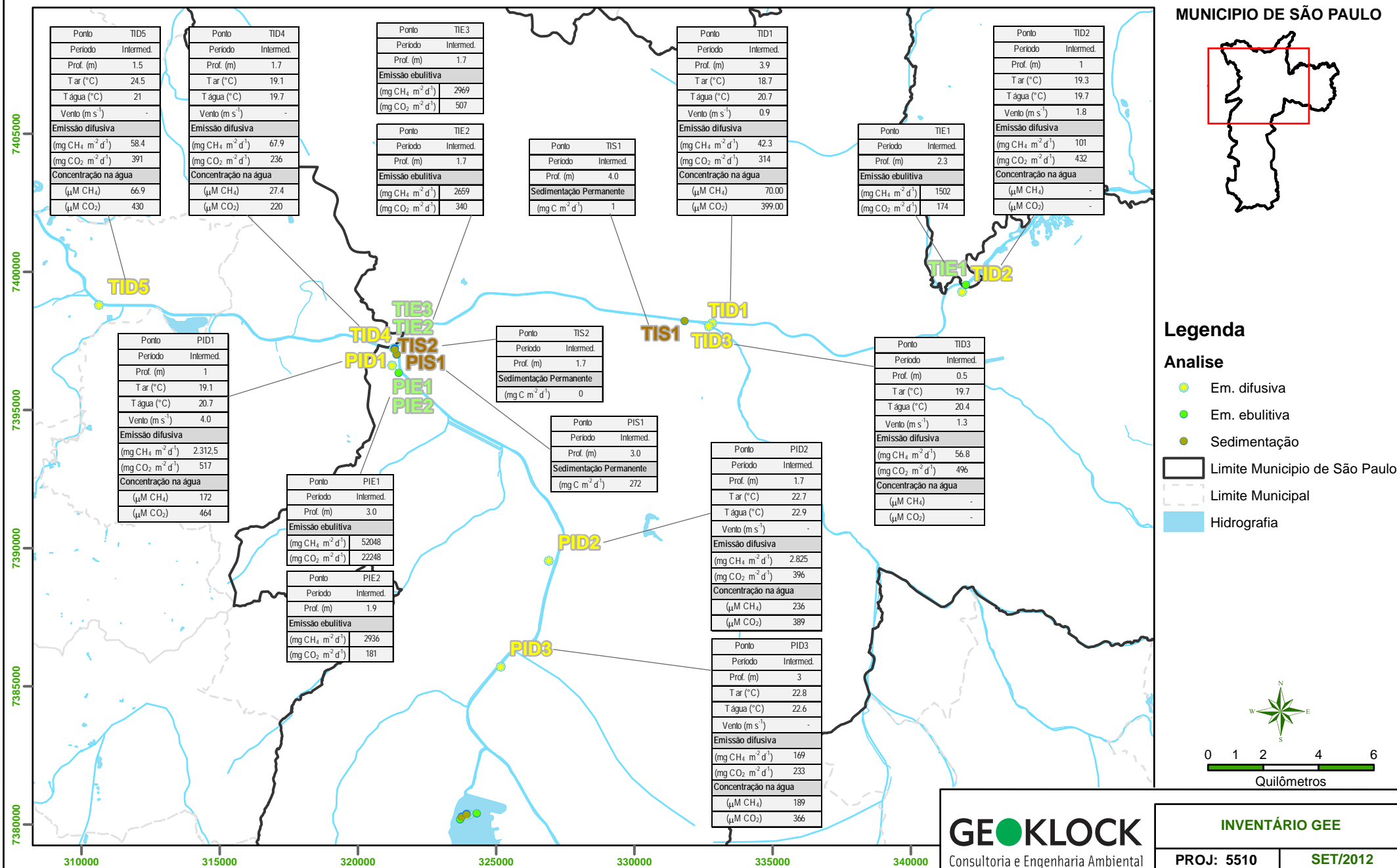


Figura 10: MEDIÇÕES NOS RIOS



5. RESULTADOS

5.1. Extrapolação temporal

A variabilidade temporal das emissões dos corpos hídricos é bastante complexa. De acordo com IHA (2010), as emissões dos reservatórios podem variar: de um ano para o outro, de acordo com as estações do ano e até mesmo diariamente.

A variabilidade interanual das emissões dos reservatórios refere-se às mudanças que podem ocorrer nas emissões de um ano para outro. Para se abranger essa variabilidade, a IHA (2010) recomenda pelo menos dois anos de monitoramento para reservatórios antigos, como é o caso dos reservatórios Billings e Guarapiranga.

A variabilidade sazonal refere-se às alterações que ocorrem naturalmente devido às estações dos anos. De acordo com IHA (2010), devido a esta variabilidade, as emissões dos reservatórios podem ser alteradas em mais de uma ordem de grandeza, relacionadas com as variações na umidade, estratificação térmica, etc. Para que essa variabilidade seja compreendida no monitoramento, em regiões que apenas duas estações são bem definidas, deve-se realizar pelo menos duas amostragens no ano.

Em alguns casos é possível verificar alterações nas emissões ao longo do dia, geralmente em reservatórios que apresentam estratificação térmica diariamente. Nestes casos recomenda-se pelo menos uma amostragem durante o dia e uma a noite (IHA, 2010).

Desta forma, as campanhas de monitoramento realizadas, uma no período de seca e uma no período chuvoso, abrangem a variabilidade anual das emissões dos reservatórios. A variabilidade temporal não está completamente coberta nesta campanha, sendo necessário dar continuidade a este estudo. Para efeito de cálculo, as medianas das taxas registradas nas campanhas de amostragem foram consideradas como taxa representativa de emissões difusivas, ebulitivas e sedimentação de carbono nos corpos hídricos avaliados.

5.2. Extrapolação geográfica

Para extrapolar as emissões verificadas nos pontos amostrados para toda a área dos corpos hídricos foram adotadas duas abordagens. Para as emissões difusivas e para a sedimentação de carbono permanente nos corpos hídricos foram consideradas as medianas dos valores observados durante a campanha de amostragem, pois, conforme esperado, não foram identificadas alterações no comportamento desses dois fenômenos em relação à profundidade dos corpos hídricos nos pontos amostrados. Já para as emissões ebulitivas nos reservatório Billings e Guarapiranga verificou-se que as emissões de alguns GEE apresentam alteração em relação à profundidade do reservatório no ponto amostrado, sendo então considerado esse aspecto característico das emissões ebulitivas na extrapolação dos resultados para a área dos reservatórios.

De acordo com IHA (2010), é bastante importante identificar propriamente as áreas de influência de cada ponto monitorado, a adoção de valores errados para as áreas de influência podem afetar seriamente as estimativas finais de emissão dos corpos hídricos. Por isso, adotar essa diferenciação nas emissões ebulitivas em relação à profundidade dos reservatórios, definindo as áreas propensas à emissão, é válido e necessário para melhor retratar as emissões dos reservatórios.

Ajuste das emissões ebulitivas

De acordo com IHA (2010), as zonas de emissão ebulitiva correspondem às áreas mais rasas dos corpos hídricos, em profundidade menores que 10 metros. Para extrapolar as taxas de emissão ebulitiva observadas nos pontos amostrados para toda a área do corpo hídrico, essas zonas de emissão ebulitiva devem ser consideradas.

A relação de diminuição das emissões ebulitivas com o aumento da profundidade foi observada apenas nas emissões do reservatório Billings durante a amostragem do período seco. Como na represa Guarapiranga essa relação não foi verificada, aplicou-se para toda a área da represa a mediana da emissão ebulitiva observada nas campanhas de monitoramento.

Para ajustar as taxas de emissões ebulitivas considerando-se a condição da profundidade é necessário determinar as zonas de emissão ebulitiva de cada GEE do reservatório Billings, para isto utilizou-se o método da pirâmide invertida. Neste cálculo, inicialmente determina-se a

constante de proporcionalidade a partir da área do espelho d'água e da altura da barragem, conforme apresentado na Equação 8.

$$C = \frac{A}{H^2} \quad \text{Equação 8 – Constante de proporcionalidade}$$

onde

<i>C</i>	Constante de proporcionalidade	[km ² /m ²]
<i>A</i>	Área do espelho d'água da represa	[km ²]
<i>H</i>	Altura da barragem	[m]

Sendo que a área do espelho d'água (*A*) do reservatório Billings é de 108 km² (SMA, 2012) e que a altura da barragem (*H*) da represa Billings é de 25 m (EMAE, 2012), obtiveram-se os valores da constante de proporcionalidade da represa Billings de 0,17.

Então, multiplicando-se a constante de proporcionalidade pelo quadrado da diferença entre a altura da barragem e a profundidade que apresenta emissão significativa dos GEE, tem-se a área da represa Billings que não apresenta emissões ebulitivas, conforme Equação 9.

$$A_{ne} = C \cdot (H - h)^2 \quad \text{Equação 9 – Área que não apresenta emissão ebulitiva}$$

onde

<i>A_{ne}</i>	Área que não apresenta emissão ebulitiva	[km ²]
<i>C</i>	Constante de proporcionalidade	[km ² /m ²]
<i>H</i>	Altura da barragem	[m]
<i>h</i>	Profundidade em que não ocorre mais emissão ebulitiva significativa	[m]

Sendo que para determinar a profundidade em que as emissões ebulitivas cessam (*h*), traçou-se uma reta das emissões ebulitivas em função da profundidade. Então, obteve-se que no reservatório Billings as emissões de CH₄ foram significativas em sítios com até 15,5m de profundidade, as emissões de CO₂ foram significativas em sítios com até 17,6m de profundidade e as emissões de N₂O em sítios com até 17,8m de profundidade.

Subtraindo-se a área que não apresenta emissão ebulitiva (A_{ne}) da área total do espelho d'água temos a área que emite bolhas de GEE (A_e). Finalmente a taxa de emissão ebulitiva é determinada pela multiplicação da mediana dos valores de emissão ebulitiva observadas no reservatório e a área da represa que apresentou emissões ebulitivas divididas pela área total do espelho d'água da represa, conforme Equação 10.

$$Eb = \frac{med \cdot A_e}{A}$$

Equação 10 – Taxa de emissão ebulitiva

onde

Eb	Taxa de emissão ebulitiva da represa	[mg/m ² .dia]
med	Mediana das emissões ebulitivas observadas na represa	[mg/m ² .dia]
A_e	Área que apresenta emissão ebulitiva	[km ²]
A	Área do espelho d'água	[km ²]

5.3. Resultados

5.3.1. Balanço das campanhas de medição

Com base nos resultados analíticos das campanhas de medição dos principais corpos hídricos do Município de São Paulo, foram obtidas as taxas representativas das emissões difusivas, das emissões ebulitivas e de sedimentação observadas nos corpos hídricos, apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Taxas representativas de emissão e sedimentação dos corpos hídricos

Taxas	unidade	Billings	Guarapiranga	Pinheiros	Tamanduateí	Tietê
Emissão difusiva	(mg CH ₄ / m ² .d)	11,9	15,3	43.244	1.062	1.181
	(mg CO ₂ / m ² .d)	1.854	7.936	20.156	25.486	18.112
	(mg N ₂ O / m ² .d)	0,27	2,35	69,88	1,90	2,11
Emissão ebulitiva	(mg CH ₄ / m ² .d)	202,27	0,27	27.492	-	2.659
	(mg CO ₂ / m ² .d)	1,65	0,097	11.215	-	340
	(mg N ₂ O / m ² .d)	1,07	0,048	13,9	-	4,0
Sedimentação	(mg C / m ² .d)	488	240	271.473	-	487

Para quantificar as emissões brutas e o carbono sedimentado de cada corpo hídrico foi necessário aplicar as taxas de emissão e de sedimentação às áreas do espelho d'água. As áreas consideradas no cálculo são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Áreas de espelho d'água dos corpos hídricos avaliados

Corpo Hídrico	Área de espelho d'água (km ²)
Represa Guarapiranga	25,25
Represa Billings (até Anchieta)	49,44
Rio Pinheiros	1,94
Rio Tamanduateí (São Paulo)	0,26
Rio Tietê (São Paulo)	1,19

Fonte: medição por imagens aéreas

As emissões brutas dos corpos hídricos analisados, consideradas para o ano amostrado, são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Emissões difusivas e ebulitivas dos corpos hídricos

Emissão	unidade	Billings	Guarapiranga	Pinheiros	Tamanduateí	Tietê
Difusiva	(tCH ₄ /ano)	215	141	30.559	102	513
	(tCO ₂ /ano)	33.454	73.138	14.243	2.452	7.874
	(tN ₂ O/ano)	5	22	49	0,2	1
Ebulitiva	(tCH ₄ /ano)	3.650	2	19.427	-	1.156
	(tCO ₂ /ano)	30	1	7.925	-	148
	(tN ₂ O/ano)	19	0,4	10	-	2

As emissões líquidas, ou antrópicas, não podem ser determinadas já que para isto deveriam ter sido realizadas medições antes da modificação antrópica da área inundada. Porém, acredita-se que as emissões de GEE dos corpos hídricos analisados, principalmente dos rios, sejam em sua maioria devida às atividades humanas.

A sedimentação de carbono permanente dos corpos hídricos do estudo é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 – Sedimentação de carbono permanente

	unidade	Billings	Guarapiranga	Pinheiros	Tamanduateí	Tietê
Sedimentação	(tC/ano)	8.805	2.212	191.837	-	212

Para determinar as emissões finais de carbono dos corpos hídricos foram consideradas as quantidades de carbono sedimentado e de carbono que é emitido na forma de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) pelas vias de emissão difusiva e ebulitiva. Para determinar a quantidade de carbono que foi emitido como metano utilizou-se o fator 12/16, que equivale à massa de um mol de carbono sobre a massa de um mol de metano. O mesmo foi feito para determinar a massa de carbono emitido na forma de dióxido de carbono, aplicando-se o fator 12/44. Na Tabela 10 são apresentadas as emissões finais de carbono dos corpos hídricos, obtidas somando as emissões de carbono da via difusiva e da via ebulitiva e subtraindo o carbono sedimentado. Os valores estão apresentados no equivalente ao elemento carbono, representado por “C_{eq}”.

Tabela 10 – Emissões finais de carbono dos corpos hídricos

Emissão		Billings	Guarapiranga	Pinheiros	Tamanduateí	Tietê
		(tC _{eq} /ano)				
Difusiva	CH ₄	161	106	22.919	77	385
	CO ₂	9.124	19.947	3.885	669	2.147
	total	9.285	20.052	26.803	745	2.532
Ebulitiva	CH ₄	2.737	2	14.570	0	867
	CO ₂	8	0	2.161	0	40
	total	2.745	2	16.732	0	907
Sedimentação		-8.805	-2.212	-191.837	-0	-212
Emissão Líquida		3.225	17.843	-148.302	745	3.228

Nota: Sinal negativo indica remoção de carbono pelo corpo hídrico

5.3.2. Emissões de GEE

Para verificar a contribuição das emissões dos corpos hídricos em relação ao aquecimento global, foram considerados os potenciais de aquecimento global – PAG de cada gás. Os PAG utilizados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Potencial de aquecimento global

Gás	PAG
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Fonte: IPCC, 2006

Deve-se ressaltar que as emissões de CO₂ não foram consideradas no total de emissões de GEE por serem de origem biogênica, conforme diretrizes do IPCC (2006), sendo apresentadas apenas como informação. As emissões totais de GEE dos corpos hídricos analisados são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Emissões de GEE dos corpos hídricos

Emissão	GEE	Billings	Guarapiranga	Pinheiros	Tamanduateí	Tietê
		t CO ₂ e				
Difusiva	CH ₄	4.509	2.961	641.729	2.145	10.782
	CO ₂	33.454	73.138	14.243	2.452	7.874
	N ₂ O	1.510	6.714	15.308	57	284
	total	6.019	9.675	657.037	2.202	11.066
Ebulitiva	CH ₄	76.645	52	407.973		24.275
	CO ₂	30	1	7.925		148
	N ₂ O	5.985	137	3.045		539
	total	82.630	189	411.018	0	24.814
Emissões GEE	total	88.650	9.864	1.068.055	2.202	35.880

Para efeito de comparação das emissões de GEE e do carbono que é sedimentado nos corpos hídricos, considerou-se que o carbono sedimentado seria equivalente ao carbono do dióxido de carbono (CO₂). Desta forma, transformou-se a massa de carbono sedimentado para massa de CO₂, multiplicando-se a massa sedimentada por 44/12. Então, o balanço entre as emissões de

GEE e a quantidade de carbono sedimentado para cada corpo hídrico é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Emissões finais em GEE

Emissão	Billings	Guarapiranga	Pinheiros	Tamanduateí	Tietê
	t CO ₂ e				
Emissão GEE	88.650	9.864	1.068.055	2.202	35.880
Sedimentação	-32.287	-8.110	-703.403	-	-776
Emissão final	56.363	1.754	364.652	2.202	35.104

Como pode ser observado na Tabela 13, mesmo considerando-se uma sedimentação equivalente para os GEE, os corpos hídricos analisados contribuiriam com aproximadamente 460 GgCO₂e. Até o rio Pinheiros, que quando analisado com relação à quantidade de carbono apresenta uma característica de sumidouro, ao ser analisada sua contribuição com relação aos GEE verifica-se uma emissão bastante significativa.

5.4. Dessorção

O monitoramento mensal das concentrações de metano e dióxido de carbono na água foi realizado no período de fevereiro a setembro de 2012. Foram selecionados dois pontos para serem monitorados no rio Tietê, um ponto no Parque Ecológico e um próximo ao Cebolão. Os resultados obtidos com esse monitoramento são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Concentração de CH₄ e CO₂ na água

Ponto de Coleta	Data	Hora da Coleta	CH ₄ (µM)	CO ₂ (µM)	Temp. Água Coleta Rio (°C)
Rio Tietê - Parque Ecológico	29/02/2012	13:25	30	129	27,9
	28/03/2012	12:25	16	271	23,1
	19/04/2012	10:20	99	328	22,9
	08/05/2012	9:20	88	356	19,7
	12/06/2012	9:54	8,7	166	18,4
	12/07/2012	11:25	119	326	19,7
	15/08/2012	11:10	87	279	21,7
	05/09/2012	10:10	143	346	21,0

Ponto de Coleta	Data	Hora da Coleta	CH ₄ (μM)	CO ₂ (μM)	Temp. Água Coleta Rio (°C)
Rio Tietê - Cebolão	29/02/2012	15:00	23	170	28,0
	28/03/2012	14:00	51	376	23,4
	19/04/2012	11:30	78	454	24,8
	08/05/2012	13:02	67	430	21,0
	12/06/2012	10:50	3,3	237	19,5
	12/07/2012	12:30	81	315	20,9
	15/08/2012	12:10	76	365	22,5
	05/09/2012	11:15	336	485	21,6

As concentrações de CH₄ e CO₂ do mês de maio do ponto de monitoramento localizado no parque ecológico foram inferidas baseadas na correlação entre os resultados dos pontos de monitoramento dos meses de fevereiro a julho de 2012.

A Figura 11 apresenta os valores de concentração de CO₂ e CH₄ medidos apresentados ao longo dos meses de fevereiro a setembro.

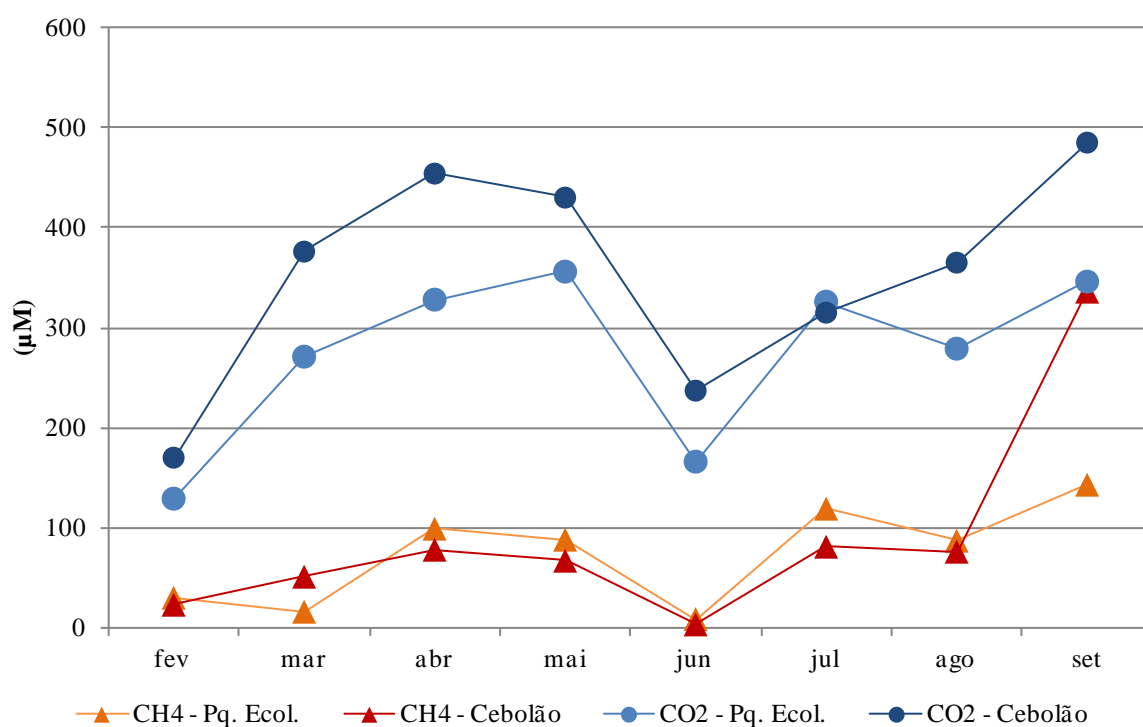


Figura 11 – Concentrações mensais de CO₂ e CH₄ no rio Tietê

Os dados das medições mensais apresentam tendência esperada de crescimento das concentrações, com exceção do mês de junho. Neste período, a redução das chuvas reduz o efeito de diluição, levando a concentrações maiores dos gases na água.

5.5. Discussão

Os resultados obtidos apontam a ordem de grandeza das emissões dos corpos hídricos, conforme objetivo deste trabalho. Entretanto, os resultados devem ser utilizados com cautela. A quantidade de variáveis é extensa e as extrapolações temporal e espacial adotadas são simplistas, caracterizando um modelo sujeito à uma margem de incerteza relevante. Além disso, os resultados obtidos são compostos por uma parcela de emissões de origem natural. Assim, as emissões antrópicas de GEE são parte das emissões totais registradas.

Conforme apresentado no item 5.1, a variabilidade das emissões de GEE nos corpos hídricos pode ser medida pela amostragem em duas campanhas, nos períodos seco e chuvoso. No entanto, segundo apresentado pelo manual do IHA (2010), o número mínimo necessário para extrapolação temporal e respectivo modelamento das emissões de GEE para os corpos hídricos seriam de pelo menos oito campanhas: uma no período chuvoso, uma no período seco e outras duas nos períodos intermediários, durante dois anos consecutivos.

Como sugestões de aprimoramento, os parâmetros devem monitorados com maior frequência, de pelo menos uma por mês para um modelamento robusto IHA (2010). Ainda, no caso dos rios, parâmetros de carga orgânica e demais emissões com frequência diária poderão ser monitorados, avaliando, por exemplo, questões relativas ao comportamento diurno e noturno, vazão e eutrofização.

As medições indiretas realizadas no rio Tietê permitiram identificar uma necessidade maior de dados e medições para a efetiva possibilidade de modelagem da geração e remoção de GEE do rio. Entretanto, a tendência esperada de aumento da concentração de CO₂ e CH₄ na água com a redução das chuvas, foi verificada.

O rio Pinheiros se destacou pelas elevadas emissões de GEE registradas e também pelas taxas de sedimentação. Por se tratar de um rio praticamente sem correnteza, o processo de degradação

anaeróbio é favorecido, gerando elevadas quantidades de metano e gás carbônico, a partir das cargas orgânicas disponíveis no rio. A sedimentação também pode ser influenciada por esta característica. Com o rio sem movimento, a sedimentação de carbono é mais propícia. No rio Tietê, a sedimentação medida foi bem menor que no rio Pinheiros, o que pode estar relacionado com o regime de maior turbulência das águas correntes do rio Tietê.

A represa Billings apresentou uma taxa de emissão de metano maior que a Guarapiranga e uma taxa de emissão de gás carbônico, menor. Estes fatos podem estar relacionados com uma maior poluição da água da Billings, aumentando a eutrofização, demanda de carbono para compor os fitoplânctons. Além disso, a matéria orgânica poluidora nas regiões anóxicas, produz mais metano. Deve-se ressaltar que a represa Billings recebe água poluída do rio Pinheiros ocasionalmente.

As incertezas relacionadas com as emissões de GEE dos corpos hídricos são inúmeras e pouco mensuráveis. A principal incerteza está relacionada com a grande variação das emissões dos corpos hídricos, que conforme observado nas amostragens realizadas as emissões de GEE em diferentes pontos da represa podem ser bastante diferentes e mesmo comparando as emissões de um mesmo ponto da represa, estas podem sofrer variações expressivas de um dia para o outro. Essa variação está relacionada com a dinâmica dos reservatórios, que é bastante complexa, pois depende de diversas condições climáticas, ambientais e sociais.

Outro ponto de incerteza está relacionado com as dimensões dos corpos hídricos. As áreas dos espelhos d'água, principalmente dos reservatórios, sofrem alterações ao longo do ano, devido ao regime hídrico. Além disso, também há a incerteza relacionada ao relevo submerso dos reservatórios, que apresenta característica diferente de uma reta, como adotado no método da pirâmide invertida.

Ainda existem as incertezas dos equipamentos de coleta de amostras e a incerteza dos equipamentos de análise, que também contribuem com as incertezas deste estudo, porém em menor escala.

No setor de Resíduos do inventário, cerca de 4,1 mil toneladas de metano por ano foi prevista como emissão de GEE pelos efluentes nos corpos hídricos. Segundo os resultados das campanhas de amostragem, esta emissão está na ordem de 55 mil toneladas de metano por ano

(emissões difusivas e ebulitivas). O valor obtido é cerca de dez vezes maior que o montante previsto pela metodologia do IPCC (2006). Entretanto, deste montante obtido através das campanhas de medições de GEE nos corpos hídricos, o rio Pinheiros responde por 90%. Analisando os valores obtidos deste rio, temos uma emissão média de pouco mais de 1 litro de metano por metro quadrado, por segundo. Esta taxa de emissão é bastante intensa, que deve ser mensurada com maior quantidade de amostras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAI Z., XING G., YAN X., XU H., TSURUTA H., YAGI K., e MINAMI K. **Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management**. 1997, p. 7-14.

CAPOBIANCO, J.P.R. **Billings 2000 - ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo**: relatório do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billings no período de 1989-99. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2002.

CAVALCANTI, J.E. **A despoluição do rio Pinheiros e o controle de cheias na RMSP**. Instituto de Engenharia, 2012. Disponível em: <http://www.institutodeengenharia.org.br/site/noticias/exibe/id_sessao/70/id_colunista/4/id_noticia/6705/A-despolui%C3%A7%C3%A3o-do-rio-Pinheiros-e-o-controle-de-cheias-na-RMSP> Acesso em 31/07/2012.

CETESB (São Paulo). **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2011**. São Paulo: CETESB, 2012. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes-/-relatorios>> Acesso em 25/07/2012.

CORREIA, I.M. Poluição compromete Rio Tamandateí. **Diário do Grande ABC**, 18/01/2009. Disponível em <<http://sosriosdobrasil.blogspot.com.br/2009/01/rio-tamanduate-um-rio-slido-abc-sp.html>> Acesso em 26/07/2012.

CUNHA, P.M. e WHATELY, M. **Guarapiranga 2005 - Como e por que São Paulo está perdendo este manancial**: resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2006.

CUTOLO, A.S. **Comunidade zooplanctônica na represa de Guarapiranga – SP – Brasil**. Departamento de Saúde Ambiental, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/bracca277.pdf>>. Acesso em 05/07/2012.

INTERNATIONAL HIDROPOWER ASSOCIATION – IHA. **GHG measurement guidelines for freshwater reservoirs**. Londres, 2010.

IPCC. **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm> Acesso em: 11/06/2012.

LIMA, I.B.T.; MAZZI, E.A.; CARVALHO, J.C.; OMETTO, J.P.H.B.; RAMOS, F.M., STECH, J.L.; NOVO, E.M.L.M. **Photoacoustic/dynamic chamber method for measuring greenhouse gas fluxes in hydroreservoirs**. Verh Internat Verein Limnol 29:603-606, 2005.

NISHIMURA, P.Y. **Ecologia da comunidade fitoplanctônica em dois braços da represa Billings (São Paulo, SP) com diferentes graus de trofia**. Tese de mestrado. São Paulo, 2008. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/.../tde.../paula_nishimura.pdf> Acesso em 29/03/2012.

OLIVEIRA, L.H.W; POLL, L.C; BITTENCOURT, A.G; PEREIRA, C.A.A.O; FRENCH, Jonathan. **Considerações sobre a efetividade de tomada d'água seletiva para o reservatório Guarapiranga, em São Paulo**. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu, 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/guarapiranga.pdf>> Acesso em 29/03/2012.

PRETO, B.L. **Uso de aeradores e substratos na engorda do camarão-da-amazônia *Macrobrachium amazonicum***. Centro de Aquicultura da Unesp, campus de Jaboticabal, 2012.
Queiroz LA. 2004. Avaliação das condições tróficas da represa do Lobo (Itirapina-Brotas/SP) através do estudo da comunidade de macroinvertebrados bentônicos. Dissertação de mestrado. Centro Universitario de Araraquara – Uniara.

SANTOS, M.A.; ROSA, L.P.; SIKAR, B.; SIKAR, E e SANTOS, E.O.S. **Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants**. 2006, p. 481-488. DOI: 10.1016/j.enpol.2004.06.015.

SANTOS, M.A.; ROSA, L.P.; MATVIENKO, BOHDAN; SANTOS, E.O.; ROCHA, C.H.E.D.; SIKAR, ELIZABETH; SILVA, M.B.; JUNIOR, A.M.P.B. **Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas**. Oecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em <dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=2880904> Acesso em 30/03/2012.

SIKAR, E. e LA SCALA JR, N. **Methane and carbon dioxide seasonal cycles at urban Brazilian inland sites**. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 2004, p. 101-106.

SIKAR, E.; SANTOS, M.A.; MATVIENKO, B.; SILVA, M.B.; ROCHA, C.H.E.D., SANTOS, E.; BENTES JR, A.P. e ROSA, L.P. **Greenhouse gases and initial findings on the carbon circulation in two reservoirs and their watersheds**. 2005, p. 573-576.

SIKAR, Elizabeth; MATVIENKO, Bohdan; SANTOS, M.A.; PATCHINEELAM, S.R.; SANTOS, E.O.; SILVA, M.B.; ROCHA, C.H.E.D.; CIMBLERIS, A.C.P.; ROSA, L.P. **Silicon as a permanent-carbon sedimentation tracer**. *Inland Waters* 2: 119-128. 2012.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. e SILVA, R. R. **A atmosfera terrestre**. Editora Moderna, 2004.

TREMBLAY A., THERRIEN J., HAMLIN B., WICHMANN E., e LEDREW L. J. **Greenhouse gas emissions from boreal reservoirs and natural aquatic ecosystems**. *Greenhouse Gas Emissions - Fluxes and Processes: Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*. Editora Springer, 2005, p. 209-232, 2005.

TUNDISI, J.G. Reservatórios como sistemas complexos: Teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, funções e aspectos sociais**. Botucatu: Fundbio/Fapesp, 1999. p.19–38.

XAVIER, M.B. **Contribuição ao estudo da variação sazonal do fitoplâncton na Represa Billings, São Paulo**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. 1979.

Sítios da internet consultados durante o período de desenvolvimento do trabalho:

- Construmaq – Construtora de máquinas e aparelhos químicos <<http://www.construmaq.ind.br/>> Acesso em 15/03/2012
- EMAE – Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A. <<http://www.emae.sp.gov.br/elevatorias.htm>> Acesso em 10/08/2012
- Mananciais – De olho nos mananciais <<http://www.mananciais.org.br/>> Acesso em 28/03/2012
- Novo Milênio <<http://www.novomilenio.inf.br/cubatao/ch007j.htm>> Acesso em 30/07/2012.
- SABESP <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=36>> Acesso em 25/07/2012.
- SÃO PAULO (Estado) – Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê <[http://www.comiteat.sp.gov.br/bacia.htm#CARACTERÍSTICAS DA UGRHI](http://www.comiteat.sp.gov.br/bacia.htm#CARACTERÍSTICAS_DA_UGRHI)> Acesso em 31/07/2012.
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente <<http://www.ambiente.sp.gov.br/projetos13.php>> Acesso em 01/10/2012.
- USP – Universidade de São Paulo <<http://www.usp.br/procam/govagua/altotiete.php>> Acesso em 31/07/2012.

Apêndice A – Medições primárias de emissões difusivas

Tabela 15 – Concentração de CH₄ nas amostras de emissão difusiva

Ponto	Data	Horário	Concentração de CH ₄ no tempo				Equação de ajuste	S ou R ²
			0min.	1min.	2min.	4min.		
(ppm)								
Reservatório Billings								
BCD1	13/02/12	14:08	3,14	5,76	13,6	13,8	$y=2,82t+4,15$	R ² =0,77
BCD2	13/02/12	15:31	1,84	1,88	1,93	2,22	$y=0,0969t+1,80$	R ² =0,92
BCD2a	14/02/12	15:19	3,74	4	4,6	6,56	$y=0,727t+3,45$	R ² =0,94
BCD3	13/02/12	16:52	1,8	1,83	1,99	2,09	$y=0,0774t+1,79$	R ² =0,93
BCD4	14/02/12	13:33	4,56	14,3	27,2	36,1	$y=49,1-45,1\exp(-0,32t)$	S=1,5%
BSD1	17/07/12	13:05	2,73	3,00	4,05	5,13	$y=0,63t+2,62$	R ² =0,97
BSD2	17/07/12	13:45	2,16	1,95	1,88	2,15	$y=0,0007t+2,02$	R ² =0,008
BSD3	17/07/12	14:20	2,08	2,3	2,73	3,43	$y=35t+2,03$	R ² =0,99
BSD3a	18/07/12	14:30	1,82	2,31	3,73	4,9	$y=0,804t+1,78$	R ² =0,96
Reservatório Guarapiranga								
GCD1	13/02/12	08:48	2,91	4,07	6,12	9,98	$y=1,81t+2,60$	R ² =0,99
GCD2	13/02/12	10:16	4,56	6,06	8,45	12,7	$y=2,08t+4,31$	R ² =0,99
GCD2b	14/02/12	09:30	2,17	2,78	56,9 [†]	54,9 [†]	$y=0,820t+1$	R ² =1
GCD3	13/02/12	11:27	3,46	3,76	4,22	6,37	$y=0,744t+3,15$	R ² =0,93
GSD1	17/07/12	09:00	1,92	2,17	2,37	2,41	$y=2,45-0,54\exp(-0,758t)$	S=0,5%
GSD2	17/07/12	09:42	2,25	2,66	3,37	4,95	$y=0,69t+2,1$	R ² =0,98
GSD3	17/07/12	10:25	2,63	3,37	4,59	6,40	$y=311t+655$	R ² =0,99
Rio Pinheiros								
PID1	08/05/12	14:25	279	1.974	2.470	3.095	$y=3159-2862\exp(-0,808t)$	S=1,3%
PID2	09/05/12	13:11	1.106	3.479	4.823	6.482	$y=7590-6465\exp(-0,437t)$	S=0,32%
PID3	09/05/12	15:11	476	553	814	3.446*	$y=169t+445$	R ² =0,91
Rio Tamanduaté								
TID3	08/05/12	11:02	45,1	75,4	146	265	$y=56,8t+33,4$	R ² =0,98
Rio Tietê								
TID1	08/05/12	16:38	87,8	108	161	251	$y=42,3t+77,9$	R ² =0,78
TID2	08/05/12	09:20	53,4	117	244	447	$y=101t+38,2$	R ² =0,99
TID4	08/05/12	11:20	1.415*	554	623	758	$y=67,9t+487$	R ² =1
TID5	08/05/12	13:02	97,9	156	220	331	$y=58,4t+98,9$	R ² =0,99

*excluído por se tratar de possível captura de bolha de metano. As emissões ebulitivas são medidas, e contabilizadas separadamente das difusivas.

A Tabela 16 apresenta os valores de concentração de CO₂ obtidos através da análise cromatográfica das amostras coletadas por câmara de difusão nos corpos hídricos, juntamente com a equação de ajuste obtida a partir dos resultados da análise cromatográfica.

Tabela 16 – Dados obtidos das amostras de emissão difusiva para CO₂

Ponto	Data	Horário	Concentração de CO ₂ no tempo				Equação de ajuste	S ou R ²
			0min.	1min.	2min.	4min.		
Reservatório Billings								
BCD1	13/02/12	14:08	815	988	1136	1299	$y=1.498-685\exp(-0,31t)$	S=0,17%
BCD2	13/02/12	15:31	558	574	604	698	$y=35,9t+546$	R ² =0,96
BCD2a	14/02/12	15:19	388	323	249	221	$y=192+199\exp(-0,52t)$	S=2,5%
BCD3	13/02/12	16:52	465	437	370	334	$y=254,6+215\exp(-0,258t)$	S=2,1%
BCD4	14/02/12	13:33	430	368	357	325	$y=321+107\exp(-0,68t)$	S=0,9%
BSD1	17/07/12	13:05	873	968	1.216	1.666	$y=206t+821$	R ² =0,98
BSD2	17/07/12	13:45	685	774	867	980	$y=73,4t+698$	R ² =0,98
BSD3	17/07/12	14:20	515	466	466	468	$y=-9,29t+495$	R ² =0,43
BSD3a	18/07/12	14:30	442	510	652	731	$y=891-459\exp(-0,27t)$	S=1,2%
Reservatório Guarapiranga								
GCD1	13/02/12	08:48	489	581	610	712	$y=840-347\exp(-0,24t)$	S=0,6%
GCD2	13/02/12	10:16	699	804	1060	1242	$y=1673-997,5\exp(-0,24t)$	S=1,2%
GCD2b	14/02/12	09:30	616	770	952	1232	$y=155t+622$	R ² =0,99
GCD3	13/02/12	11:27	579	641	810	925	$y=90t+581$	R ² =0,95
GSD1	17/07/12	09:00	670	837	1.022	1.250	$y=1665-1005\exp(-0,22t)$	S=0,4%
GSD2	17/07/12	09:42	646	968	1.290	1.891	$y=311t+655$	R ² =0,99
GSD3	17/07/12	10:25	539	574	775	868	$y=88,3t+534$	R ² =0,95
Rio Pinheiros								
PID1	08/05/12	14:25	1.638	2.360	2.742	3.768	$y=517t+1722$	R ² =0,99
PID2	09/05/12	13:11	1.575	1.856	2.219	2.576	$y=3220-1665\exp(-0,238t)$	S=0,50%
PID3	09/05/12	15:11	1.328	1.471	1.766	2.234	$y=233t+1292$	R ² =0,99
Rio Tamanduateí								
TID3	08/05/12	11:02	985	1.399	1.755	2.371	$y=3497-2531\exp(-0,196t)$	S=0,36%
Rio Tietê								
TID1	08/05/12	16:38	1.356	1.439	1.924	2.541	$y=314t+1266$	R ² =0,96
TID2	08/05/12	09:20	970	1.383	1.821	2.693	$y=432t+961$	R ² =0,99
TID4	08/05/12	11:20	1.604	2.193	2.016	2.674	$y=236t+1708$	R ² =0,83
TID5	08/05/12	13:02	1.610	1.791	2.280	3.117	$y=391t+1515$	R ² =0,98

Nos casos em que se aplica o ajuste linear, a emissão difusiva é dada pelo coeficiente angular da equação de ajuste. Já nos casos em que se aplica o ajuste exponencial, a emissão difusiva é dada pelo coeficiente angular da reta tangente à equação de ajuste no tempo $t=0$.

Apêndice B – Medições primárias de emissões ebulitivas

Tabela 17 – Dados obtidos das amostras coletadas de emissão ebulitiva

Ponto	Dados da coleta			Resultados da análise cromatográfica: Concentrações de gás na amostra				
	Data	nº Funis	Tempo coleta (h)	Volume coletado (mL)	% CO ₂	% O ₂	% N ₂	% CH ₄
Reservatório Billings								
BCE1	13/02/12	1	23,23	370	0,2	3,63	31,8	64,4
BCE1a	13/02/12	1	23,23	353	0,19	2,52	28,5	68,8
BCE2	13/02/12	1	23,5	530	0,23	3,53	28,9	67,3
BCE3	13/02/12	3	24	45	0,03	23,2	73,5	3,94
BSE1	17/07/12	2	23,75	17	0,45	5,8	87,3	6,46
BSE2	17/07/12	2	25,02	10	0,21	15,5	83,8	0,45
BSE3	17/07/12	2	24,42	14	0,041	43,7	50,6	5,72
Reservatório Billings								
GCE1	13/02/12	1	24,6	68	0,41	10,2	49,4	40
GCE2	13/02/12	2	23,83	16	0,3	16,4	82,5	0,72
GCE3	13/02/12	1	22,75	33	0,25	13	67	19,8
GCE4	13/02/12	2	23,17	10	0,36	15,2	81,1	3,36
GSE1	17/07/12	2	24,12	10	0,15	18,3	78,4	3,1
GSE2	17/07/12	2	24,17	16	0,21	17,8	80,9	1,12
Reservatório Billings								
PIE1	08/05/12	3	0,85	4.200	12,6	1,1	5,61	80,7
PIE2	09/05/12	3	1,08	305	1,8	1,02	16,8	80,4
Reservatório Billings								
TIE1	08/05/12	3	9	855	3,41	1,65	14,2	80,8
TIE2	08/05/12	3	2,33	564	3,92	1,02	10,9	84,2
TIE3	09/05/12	3	18,75	5.400	4,95	1,58	13,8	79,7

Nota: A amostra do ponto GSE3 foi perdida.