



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO 11 - GIA**

**GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

**ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) EM SOLO COM BASE NAS MEDIÇÕES  
DAS DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO DA ÁREA DO FUTURO RESERVATÓRIO DA USINA  
HIDRELÉTRICA DE MAUÁ**

**Akemi Kan (\*)**  
**LACTEC**

**Rafael G. Serta**  
**LACTEC**

**Éder D. B. da Silva**  
**LACTEC**

**Giovani M. Teixeira**  
**COPEL**

**RESUMO**

No presente trabalho, foram realizados estudos e desenvolvimento de sistemas de monitoramento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em solos com base na literatura. O objetivo deste trabalho é elaborar uma metodologia de monitoramento de GEE em solo de fácil implantação, de baixo custo, robusta e replicável para diferentes condições de solo e cobertura de solo. Foram confeccionadas câmaras de fluxo para coleta de gases emitidos pelo solo, e os testes mostraram que a metodologia de coleta de amostra usando seringas produz resultados com boa correlação com os da medição contínua de fluxo usando sensor infravermelho.

**PALAVRAS-CHAVE**

Câmara de fluxo, Emissão em solos em GEE, Monitoramento de gases, Reservatórios

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A verificação das variações climáticas fez a humanidade refletir sobre sua interferência no meio ambiente. O desenvolvimento de todos os setores da atividade humana alavancado pela descoberta e utilização de combustíveis fósseis, fontes altamente energéticas, são fatos inegáveis. Os hidrocarbonetos, constituintes dos combustíveis fósseis, pelo processo de combustão são transformados em gases e lançados na atmosfera, mais intensamente nas últimas décadas, ocasionando um aumento expressivo das concentrações de gases na atmosfera. O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), apesar de sua baixa concentração na atmosfera, pouco menos de 0,04%, ele é o principal responsável pelo efeito estufa. Adicionados a esse gás, tem-se o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) que representam 0,0002% e 0,00005%, respectivamente, e que apresentam o potencial de efeito estufa 21 e 300 vezes.

A necessidade de energia para a realização das atividades de qualquer natureza é incontestável. A forma de energia elétrica mais utilizada no Brasil é a energia elétrica, representando mais de 80% do total. A hidroeletricidade está associada a fontes renováveis de matéria prima, a água. As águas dos rios são represadas formando reservatórios com função de acumulação e/ou elevação do nível da água.

A partir da década de 90, a comunidade científica começou a questionar se de fato a produção de energia hidrelétrica é uma alternativa de produção de energia limpa. Fato, esse, que foi embasado nos resultados obtidos do monitoramento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de alguns reservatórios brasileiros, gerando dúvidas, controvérsias e discussões sobre a contribuição dos reservatórios de usinas hidrelétricas nas questões de mudanças climáticas.

A instalação de usinas hidrelétricas acaba alterando o meio ambiente natural principalmente pelo alagamento de grandes áreas, modificando o fluxo, a emissão e a captura de GEE preexistente em solo e, para o deslinde da

quantificação desse fluxo, é necessário buscar meios que possam fornecer estimativas precisas da contribuição dos reservatórios nas emissões de GEE.

O presente artigo apresenta: (i) revisão de literatura em emissão de GEE em solos; (ii) metodologias de monitoramento de emissões de GEE em solo com destaque na metodologia a ser aplicada na área do futuro reservatório da Usina Hidrelétrica de Mauá; (iii) alguns resultados preliminares da aplicação dessa metodologia, mostrando as possibilidades de sua utilização para o monitoramento das emissões em cada condição de uso e ocupação do solo. A Usina Hidrelétrica de Mauá pertencente ao Consórcio Energético Cruzeiro do Sul, constituído pela Companhia Paranaense de Energia - COPEL e Eletrosul Centrais Elétricas S/A. Esse artigo faz parte do projeto do programa de P&D COPEL-ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), intitulado "Avaliação de Gases de Efeito Estufa (GEE) da Área de Influência de Reservatório em Construção (Estudo de Caso: Mauá), onde estão contemplados estudos como: (i) caracterização ambiental e geográfica da área de estudo com a descrição dos tipos de solo e cobertura vegetal anterior ao alagamento; (ii) revisão de literatura sobre as emissões de GEE em reservatórios; (iii) estudos hidrossedimentológicos da bacia de contribuição ao reservatório; (iv) estudos hidrodinâmicos do reservatório; (v) descrição das metodologias de monitoramento em solo e em água; (v) monitoramento em solo e em água, rio e reservatório; (vi) análise dos dados monitorados; (vi) análise comparativa entre as emissões e as características ambientais, hidrometeorológicas e geográficas; (vii) discussão entre os resultados obtidos esse projeto e os de literatura. Este trabalho é uma apresentação dos resultados dos testes realizados para medição de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera.

Neste estudo é focado apenas à obtenção de dados observacionais (monitoramento) em solo que irá permitir o cálculo de emissão e/ou captura de GEE na área do futuro reservatório, permitindo a elaboração de cenários sem e com a existência do corpo da água bem como o cálculo das emissões líquidas de um reservatório. Esse monitoramento ao longo do tempo permitirá buscar relações com as variáveis do solo, hidroclimáticas e estudar o fluxo dos gases, possibilitando encontrar covariáveis de fácil mensuração. Apesar da distribuição irregular das estações hidrológicas e meteorológicas, é possível obter dados dessas variáveis para caracterizar as condições de um reservatório, principalmente das regiões sul e sudeste, onde se concentram a maioria dessas estações.

## 2.0 - EMISSÃO DE GEE EM SOLOS

O ciclo do carbono é apresentado esquematicamente na FIGURA 1 e pode ser compreendido, segundo Lal (1999), dividindo-o em compartimentos: oceano, atmosfera, ecossistemas terrestres (biota), solo e carbono fóssil. O carbono fóssil encontra-se armazenadas nos vazios de formações geológicas em formas de carbono orgânico e mineral. Ao analisar os compartimentos, observa-se que o oceano armazena a maior parte de carbono disponível no planeta e o solo vem em segundo. O carbono no solo pode ser encontrado em forma de matéria orgânica e mineral, tal como a calcita, cujas quantidades estão entorno de 1.500 Pg e 1.000 Pg, respectivamente.

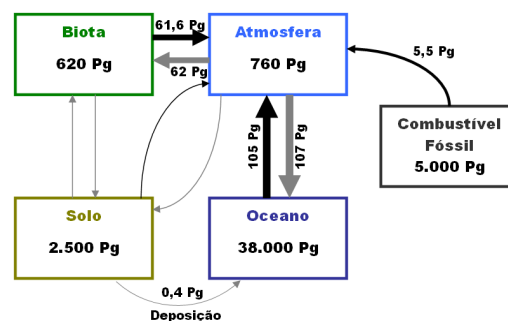


FIGURA 1 - Distribuição esquemática do carbono na Terra (Fonte: Lal, 1999).

A importância do solo como armazenador de carbono é conhecida, sendo o maior reservatório de carbono terrestre (BRUCE *et al.*, 1999). Segundo Stevenson (1994), o solo desempenha a função de capturar e armazenar o carbono, e o teor de carbono no solo reflete os níveis de matéria orgânica e estes exercem influências sobre as variáveis físicas (PALACIOS, 2010). A quantidade de matéria orgânica no solo é controlada pelo aporte de resíduos vegetais e pelos processos de decomposição (BATJES, 1996), principalmente. Parte dessa matéria é transportada para os corpos da água.

O represamento para a produção de energia hidroelétrica envolve, inevitavelmente, a inundação da vegetação pré-existente ou partes da mesma, e solos contendo quantidades significativas de matéria orgânica, consequentemente o carbono (POULIN-THÉRIAULT & GAUTHIER-GUILLETTE, 1993; DYCK & SHAY, 1999). Esta matéria orgânica pode se decompor mais ou menos rapidamente, dependendo das condições ambientais do local. No represamento, o solo alagado pode muitas vezes produzir GEE que vão para a água em forma de difusão molecular e bolhas, e posteriormente lançadas na atmosfera (KELLY *et al.*, 1997).

O monitoramento das emissões de GEE em solo da área de alagamento é fundamental para a estimativa quantitativa das emissões considerando cenário pré-alagamento. A seguir encontra-se um levantamento em literatura das metodologias utilizadas com destaque à metodologia empregada neste estudo.

## 2.1 Medição de GEE em solo

Diversas técnicas são utilizadas para a medição de GEE na interface solo-atmosfera. Um dos métodos diretos de medição de GEE é feito utilizando câmara (COSTA *et al.*, 2006). O sistema de coleta de gases em câmara é realizado colocando-se a mesma na superfície de um solo e, podendo ser do tipo: (i) abertas com fluxo contínuo e (ii) fechadas (MATTHIAS *et al.*, 1980; DENMEAD & RAUPACH, 1993). A câmara fechada apresenta dois sistemas: dinâmico e estático. A diferença entre esses dois sistemas é a presença ou não de circulação interna do ar, respectivamente. A circulação tem o objetivo de homogeneizar a mistura dos gases. A metodologia de câmara fechada é amplamente utilizada e discutida por Rochette e Eriksen-Hamel (2008), Baker *et al.* (2003), Rochette *et al.* (1997), Costa *et al.* (2006), Denmead (2008) e Matthias *et al.* (2008). A sua grande vantagem é o baixo custo associado à praticidade de execução. Contudo, durante a sua instalação, esse sistema de medição pode alterar o microambiente. Essa alteração deve ser considerada nas análises dos resultados das medições.

Existem também os métodos micrometeorológicos utilizados para medição de gases, através da covariância dos vórtices ("eddy covariance"). A covariância dos vórtices é um método utilizado para determinar o fluxo vertical de CO<sub>2</sub> através do cálculo da covariância entre as flutuações da velocidade vertical do ar e da concentração de CO<sub>2</sub> em ponto acima da superfície (ESCOBAR, 2008). Rochette *et al.* (1997) citam que a covariância dos vórtices técnicas mais confiáveis para medição do fluxo de massa acima do solo, um exemplo dessa utilização está apresentada por Janssen (2000) e Escobar (2008).

Apesar da técnica de monitoramento de covariâncias turbulentas apresentarem resultados satisfatórios, o método das câmaras é o mais utilizado para avaliação das emissões de GEE em solo, possivelmente devido ao custo. A maioria das medições de respiração do solo relatada em literatura foi realizada com o uso de câmaras fechadas. No interior dessa câmara, é colocado um recipiente com soluções alcalinas para as reações químicas e posterior quantificação dos gases através de análises químicas. No caso de CO<sub>2</sub>, as soluções de NaOH (hidróxido de sódio) ou KOH (hidróxido de potássio) são as mais utilizadas (ROCHETTE *et al.*, 1997). Segundo Rochette *et al.*, 1997, essas câmaras com soluções alcalinas podem apresentar sub ou superestimava de fluxo.

Atualmente, o método mais empregado e defendido por pesquisadores para medição dos fluxos dos gases emitidos do solo, tem sido o das câmaras abertas (sistema de fluxo contínuo) e fechadas (sistema dinâmico e estático). Segundo Rochette *et al.* (1997), as câmaras fechadas com sistema dinâmico são aquelas em que o ar circula da câmara para um analisador portátil, e após analisado, retorna para a câmara. Já as câmaras fechadas em modo estático não possuem essa circulação, sendo a análise realizada através da coleta dos gases e posterior análise em laboratório por cromatografia principalmente.

A vantagem das câmaras dinâmicas em relação às estáticas é período de tempo que as mesmas permanecem sobre a superfície do solo, cerca de 1 a 2 minutos. Este curto tempo reduz, significativamente, o impacto da câmara sobre a interface solo-atmosfera, podendo desconsiderar as interferências sobre a temperatura e a umidade do solo (JANSSENS *et al.*, 2000; ROCHETTE *et al.*, 1997). Janssens *et al.* (2000), após seus estudos, concluiu que a escolha da câmara deve ser fundamentada nos seguintes aspectos: precisão, resolução e viabilidade (aplicabilidade e custo). No Brasil, o método mais utilizado é o da câmara estática fechada como sendo metodologia de medição de GEE em solo.

Segundo Rochette *et al.*, 1997, a instalação da base da câmara no solo deve ser feita com antecedência para amenizar os impactos advindos dos processos mecânicos de instalação no solo antes das medições e a área de coleta dos gases deve ser representativa.

Escobar (2008) avaliou a influência da temperatura do ar e do solo, da umidade do solo e da radiação solar sobre o fluxo de CO<sub>2</sub> em uma cultura de soja, ele mostrou que a variação do fluxo é explicada, em grande parte, pelos parâmetros meteorológicos, sendo a temperatura do solo a principal variável que influencia no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera.

## 2.2 Descrição da câmara de fluxo em solo

A câmara de fluxo ou câmara de difusão em solo foi montada utilizando uma câmara de PVC conforme mostrada na Figura 2–a. Pela figura pode-se observar as duas conexões com rosca na parte superior da mesma. A conexão 1 fixou a mangueira de 6 mm à câmara e na extremidade superior dessa mangueira foi acoplada uma válvula de três vias. Essa válvula é conectada a outra válvula que por sua vez está conectada a uma seringa. A seringa é o coletor da amostra de gás. A conexão 2 foi implantada para dar passagem à fiação elétrica que liga o "cooler", instalado no interior da câmara, à bateria e ao botão externo de liga/desliga. Ainda, pela conexão 2 passa o fio que se conecta ao termopar (medição de temperatura).

Para fixação da câmara ao solo foi utilizada uma base metálica (Figura 2-b) previamente cravada com 10 dias de antecedência do início do monitoramento, buscando minimizar os possíveis efeitos. A área experimental utilizada para os testes foi o gramado do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento LACTEC. Entre a base metálica e a câmara de PVC foi utilizado um aro de borracha para vedação (Figura 3-a). Nessa figura aparece o detector infravermelho utilizado para medição da concentração de  $\text{CO}_2$ . A metodologia adotada foi a coletas em intervalos de 15 minutos, sendo, a primeira, realizada no instante da colocação da câmara, seguidas de mais 3 coletas. Essa primeira coleta é acompanhada pela coleta do ar ambiente para padronizar o gás presente no ambiente externo e interno no instante da colocação da câmara. Juntamente com a coleta do gás, é feito a medição da temperatura ambiente e da temperatura no interior da câmara por meio de um termopar. O “cooler” instalado no interior da câmara é acionado 30 segundos antes de cada coleta para homogeneizar o gás presente em seu interior. As amostras coletadas nas seringas foram analisadas no detector infravermelho de  $\text{CO}_2$ . A Figura 3-b mostra esquematicamente o sistema de análise química utilizado para detecção de  $\text{CO}_2$ . O gás inerte é utilizado para o arraste da amostra até o detector, passando por medidor de fluxo de massa e, entre esse medidor e o detector de  $\text{CO}_2$  é injetado a amostra de gás coletado na seringa. Nos testes realizados, o valor máximo obtido pelo detector é adotado como sendo a concentração de  $\text{CO}_2$  para a amostragem. Essa estimativa do valor máximo será posteriormente confrontada com análises cromatográficas.



FIGURA 2 – (a) Câmara de fluxo com as conexões e (b) base metálica para fixação da câmara ao solo.

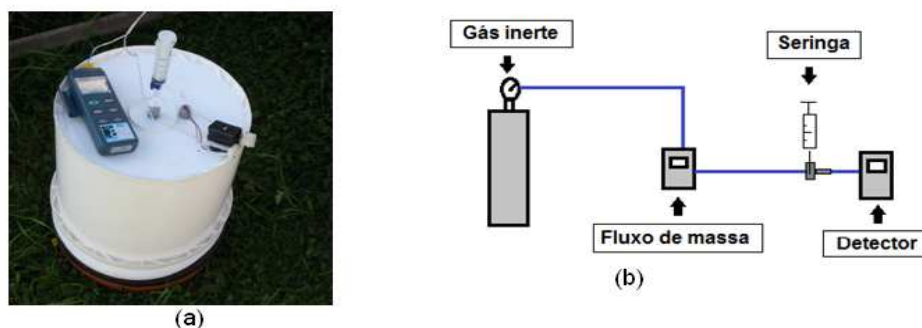


FIGURA 3 – (a) Fixação da câmara de difusão à base metálica utilizando uma borracha preta para vedação e, sensor de  $\text{CO}_2$  e sistema esquemático de análise química para detecção de  $\text{CO}_2$ .

Para verificar a variação das concentrações das emissões de  $\text{CO}_2$  obtidas através das amostras coletadas em seringa foi implantado o sensor de infravermelho para detecção de  $\text{CO}_2$  no interior da câmara (Figura 4-a), medindo a concentração desse gás e a temperatura interna do ar a cada 60 segundos. Nas medições contínuas, o “cooler” esteve ligado durante todo o período.

Para garantir menor variação de temperatura no interior da câmara de fluxo, a mesma foi revestida com material refratário com propriedade de isolamento térmico. A Figura 4-b mostra as câmaras com proteção refratária, sendo a câmara branca, a única sem revestimento.



### 3.0 - RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE GEE EM SOLO

Os resultados aqui apresentados são somente para  $\text{CO}_2$  oriundos dos testes de desempenho do sistema de monitoramento das emissões de GEE realizados em uma área experimental, gramado próximo ao laboratório do CEHPAR/LACTEC.

Os resultados de  $\text{CO}_2$  obtidos neste estudo estão apresentados para mostrar o desempenho das câmaras de difusão e a capacidade de obtenção de medidas. O processo de medição apresentado precisa ser calibrado com bases nas análises cromatográficas (análise padrão), onde os gases coletados serão analisados pela técnica de cromatografia a gás com detecção por condutividade térmica (TCD) para  $\text{CO}_2$ , ionização em chama (FID) para  $\text{CH}_4$  e captura de (ECD) para  $\text{N}_2\text{O}$ . Desta forma, os dados aqui obtidos servem apenas para teste da instrumentação em campo, não podendo ser utilizados como medidas definitivas e conclusivas.

#### 3.1 Coleta de amostra a cada 15 minutos

Inicialmente, são apresentados os testes realizados usando 4 câmaras de fluxo, onde o cooler em 2 câmaras funcionaram durante todo o período de amostragem. Os resultados desse teste estão plotados na Figura 5. As câmaras 1 e 2 utilizou o procedimento de ligar o cooler 30 s durante a coleta de amostragem (30s) e, nas câmaras 3 e 4, o cooler foi mantido ligado durante todo o período de amostragem (Ligado). A Figura 5-a apresenta o comportamento da temperatura interna das câmaras, onde se observa um comportamento distinto entre os dois procedimentos (30s e Ligado). A concentração de  $\text{CO}_2$  é mostrada na Figura 5-b e nela pode se observar que não há variações entre os dois procedimentos.

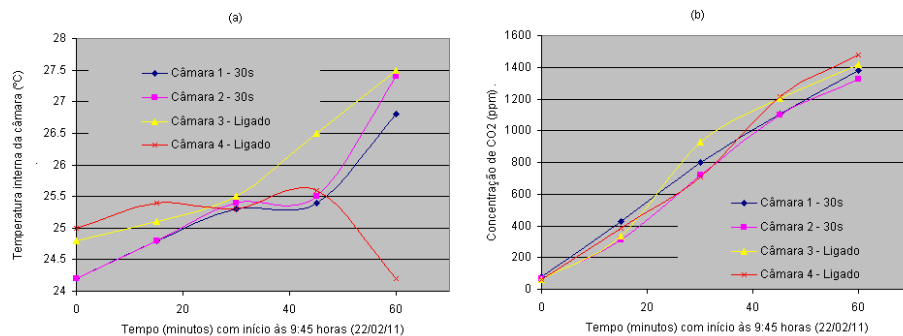


FIGURA 5 – Resultado do teste de procedimento para o funcionamento do cooler; (a) temperatura interna da câmara e (b) concentração de  $\text{CO}_2$ .

Todas as coletas de amostras na câmara a seguir foram feitas em seringas de polipropileno de 20 mL e a cada 15 minutos, começando pelo tempo zero. Antes de cada coleta, o cooler foi ligado por um período de 30 s. No tempo de 25 s, preparava-se a seringa e retiravam-se as amostras e, em 30 s desligava-se o cooler. Os testes foram realizados nos dias: 4, 7, 8 e 9 de fevereiro de 2011, usando 3 câmaras de fluxo, onde o monitoramento foi feito durante 3 horas consecutivas com coletas de amostra a cada 15 minutos. A Figura 6 apresentam o comportamento da temperatura interna e o comportamento da concentração de  $\text{CO}_2$  das 3 câmaras para o dia 9. Os resultados obtidos mostram uma tendência de linearidade na concentração de  $\text{CO}_2$  ao longo do tempo. A Figura 7 mostra a média de cada dia obtida pela média dos valores obtidos nas 3 câmaras para temperatura interna (a) e para concentração de  $\text{CO}_2$  (b). Os resultados apresentados indicam que, apesar dos testes terem sido realizados em fevereiro numa mesma estação do ano, existe variação no fluxo de emissão de  $\text{CO}_2$  entre os dias. Estudos deverão ser realizados para identificar qual variável está interferindo nessa variação.

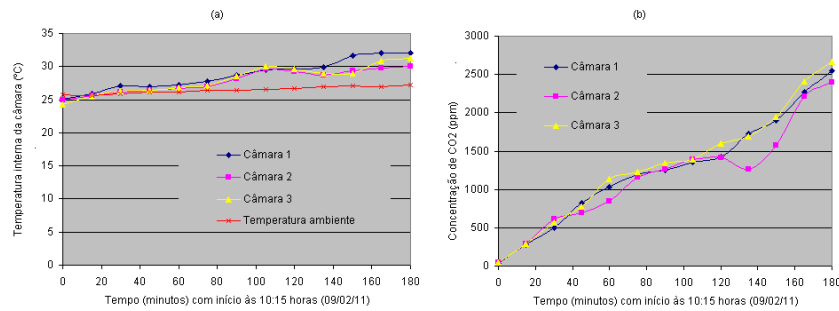


FIGURA 6 – Exemplo de resultado obtido das medições feitas nas câmaras 1, 2 e 3, (a) temperatura interna da câmara e (b) concentração de CO<sub>2</sub>.

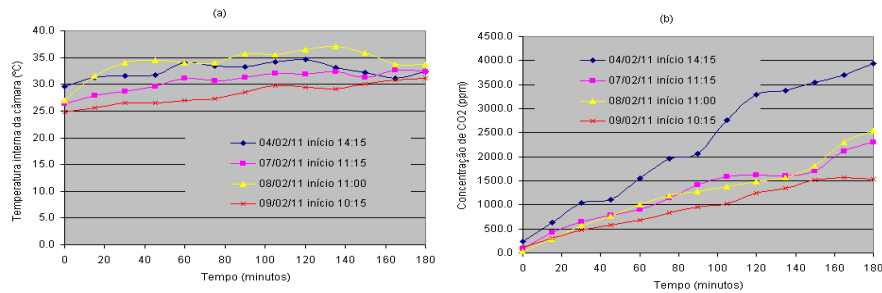


FIGURA 7 – Média das medições feitas em 3 câmaras, (a) temperatura interna da câmara e (b) concentração de CO<sub>2</sub>.

Para verificar a deterioração das amostras, foram realizados testes dos gases coletados nas seringas, onde algumas amostras eram armazenadas em caixas térmicas por 24 horas. Os resultados mostraram que, para o CO<sub>2</sub>, não houve variação na concentração. Portanto o armazenamento não altera na concentração desse gás para o período analisado.

### 3.2 Medição contínua

As medições contínuas de CO<sub>2</sub> foram realizadas usando medidor de concentração por infravermelho instalado no interior da câmara e a amostra coletada era analisada a cada 60 s, mantendo o cooler sempre ligado. Essas medições foram realizadas para confrontar com os resultados do sistema de coleta em seringa. Os resultados das medições contínuas estão apresentados nas Figuras 8 e 9. A Figura 8 mostra os resultados dos 4 dias de observação da temperatura interna e da concentração de CO<sub>2</sub>. Os resultados obtidos revelam uma forte tendência de linearidade na concentração de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo, apesar de existir uma grande variação da temperatura interna. Conclui-se que a temperatura interna da câmara, nesse caso, não é uma variável que interfere diretamente na concentração de CO<sub>2</sub>. Observou-se também uma pequena variação na inclinação das retas da concentração de CO<sub>2</sub> e no seu valor inicial no tempo zero.

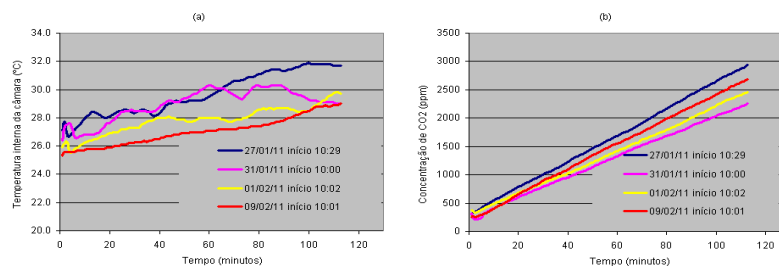


FIGURA 8 – Resultados das medições contínuas realizadas nos dias 27/01, 31/01, 01/02 e 09/02 de 2011, (a) temperatura interna da câmara e (b) concentração de CO<sub>2</sub>.

A Figura 9 mostra o comportamento da temperatura interna e da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo do dia 09/02/11. Foram realizados 3 séries de monitoramento, cada uma com aproximadamente 2 horas consecutivas de observação. Os resultados indicam grande variação na temperatura interna ao longo do dia influenciada pelo ambiente externo e uma pequena variação na concentração de CO<sub>2</sub>, sendo os menores valores encontrados para o período próximo ao meio dia.

Para verificar a saturação de CO<sub>2</sub> dentro da câmara, foi realizado um teste deixando o sistema ligado por 3 dias. Após a avaliação dos dados observou-se que o sensor infravermelho desliga automaticamente quando a



concentração atinge 6.000 ppm, sendo esta a capacidade do sensor. A Figura 10 mostra o comportamento da temperatura e umidade relativa interna e da concentração de CO<sub>2</sub> com início às 18:36 horas do dia 25/02/11 e com aproximadamente 3:20 horas de monitoramento. O gráfico à esquerda mostra a temperatura interna da câmara em queda, o gráfico ao centro mostra a saturação do ar interno após 27 minutos de medição e o do direito mostra uma leve curva nos dados de concentração de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo. Com esses resultados, não foi possível verificar o tempo nem a grandeza da concentração de CO<sub>2</sub> na saturação.

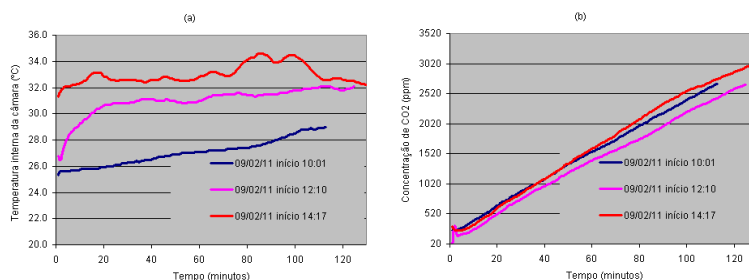


FIGURA 9 – Resultados das medições contínuas realizadas no 09/02/11 nos horários de 10, 12 e 14 horas aproximadamente para (a) temperatura interna da câmara e (b) concentração de CO<sub>2</sub>.

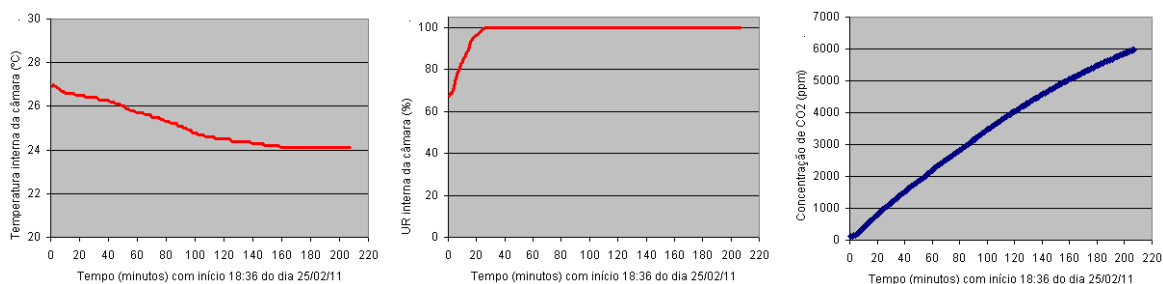


FIGURA 10 – Resultados das medições contínuas realizadas no 25/02/11 temperatura interna da câmara (esquerda), Umidade Relativa UR interna da câmara (centro) e concentração de CO<sub>2</sub> (direita).

### 3.3 Comparação entre coleta a cada 15 minutos e medições contínuas

A Figura 11 mostra a comparação entre os resultados das concentrações de CO<sub>2</sub> das medições feitas no dia 09/02/11 para o sistema de coleta em seringa e o sistema contínuo (direta). Apesar do horário de início apresentar uma defasagem de 10 minutos é possível verificar que existe uma boa correlação entre elas (esquerda) e, as medições usando coletas em seringas podem ser corrigidas usando essa correlação.

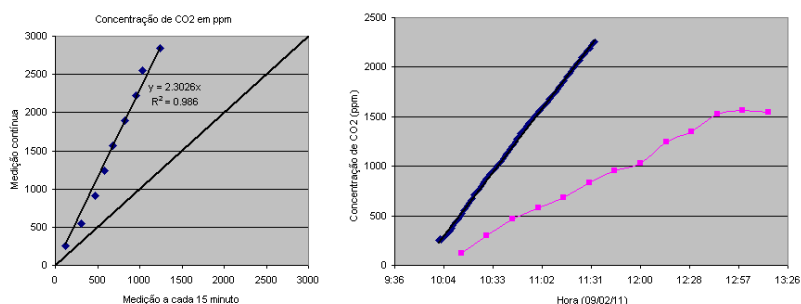


FIGURA 11 – Comparação entre os resultados de concentração de CO<sub>2</sub> com base nas medições realizadas no dia 09/02/11; correlações à esquerda e séries à direita.

## 4.0 - CONCLUSÕES

O sistema de monitoramento usando câmaras de fluxo com coleta de amostra através de seringa é viável para fornecer as taxas de emissão de CO<sub>2</sub>. Para os gases CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, o sistema será avaliado com a chegada do cromatógrafo. O sistema de armazenamento utilizado para esses gases será o *septum*.

O processo de medição ainda não está bem calibrado com análises cromatográficas, desta forma os dados apresentados servem apenas para teste do equipamento não podendo ser utilizados como medidas definitivas e conclusivas.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BAKER J.; DOYLE G.; MCCARTHY G.; MOSIER A.; PARKIN T.; REICOSKY D.; SMITH J.; AND VENTEREA R. (2003) GRACEnet chamber-based trace gas flux measurement protocol. *Trace Gas Protocol Development Committee*, 14 March, pp 1–18.
- (2) BATJES, N.H., (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47, 151–163.
- (3) BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. & PAUSTIAN, K. (1999). Carbon sequestration in soils. *Journal Soil Water and Conservation*, v.54, p.382-389.
- (4) COSTA, F. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. (2006). Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, n.2, p.693-700, mar-abr. 2006.
- (5) DENMEAD, O. T.(2008) Approaches to measuring fluxes of methane and nitrous oxide between landscapes and the atmosphere. *Plant & Soil*, 309, p. 5–24.
- (6) DENMEAD, O.T.; RAUPACH, M.R. (1993) Methods for measuring atmospheric gas transport in agricultural and forest systems. In: HARPER, L.A. *et al.* (ed). *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change. Madison: ASA, CSSA e SSSA*, p.19-43.
- (7) DYCK, B.S. & SHAY, J.M. (1999) Biomass and carbon pools of two bogs in the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario. *Canadian Journal of Botany*, 77, 291–304.
- (8) ESCOBAR, L. F. (2008). Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto médio do rio grande do sul. Dissertação (mestrado) – Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. 104p.
- (9) JANSSENS, I. A.; KOWALSKI, A. S.; LONGDOZ, B.; CEULEMANS, R. (2000). Assessing forest soil CO<sub>2</sub> efflux: an *in situ* comparison of four techniques. *Tree Physiology*, Victoria, Canada, 20, p. 23-32.
- (10) KELLY, C. A.; RUDD, J. W.; BODALY, R. A.; ROULET, N. P.; ST. LOUIS, V. L.; HEYES, A.; MOORE, T. R.; SCHIFF, S.; ARAVENA R.; SCOTT, K. J.; DYCK, B.; HARRIS, R.; WARNER, B.; EDWARDS, G. (1997). Increases in fluxes of greenhouse gases and methyl mercury following flooding of an experimental reservoir, *Environ. Sci Tech.*, 31, 1334-1344,1197.
- (11) LAL, R. (1999) World soils and the greenhouse effect. *Global Change Newsletter*, Stockholm, n.37, p.4-5.
- (12) MATTHIAS, A.D. *et al.* (1980) A simple chamber technique for field measurement of emissions of nitrous oxide from soils. *Journal of Environmental Quality*, v.9, p.251-256.
- (13) PALACIOS, P. I. C. (2010). Sistemas de cultivo de erva-mate: atributos físicos, indicadores de qualidade e estoque de carbono num latossolo vermelho aluminoférrico. Dissertação de Mestrado (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 91p.
- (14) POULIN-THÉRIAULT, GAUTHIER-GUILLEMETTE (1993). Méthode de caractérisation de la phytomasse appliquée aux complexes Grande-Baleine et La Grande. Montréal. Hydro-Québec,. 152 p.
- (15) ROCHETTE, P.; ELLERT, B.; GREGORICH, E. G.; DESJARDINS, R. L.; PATTEY, E.; LESSARD, R.; JOHNSON, B. G. (1997). Description of a dynamic closed chamber for measuring soil respiration and its comparison with other techniques. *Canadian Journal of Soil Science*, Canada, 77, p. 195-203.
- (16) ROCHETTE, P.; HAMEL, N. S. E. (2008). Chamber measurements of soil nitrous oxide flux: are absolute values reliable?. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Canada, v.72, n. 2, p. 331-342, mar-abr 2008.
- (17) STEVENSON, F.J. (1994). *Humus Chemistry: genesis, composition and reactions*. New York, Willey & Sons Inc.. 496p.



## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Akemi Kan, nasceu em Ourinhos/SP (1965), graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (1989), possui mestrado em Engenharia Oceânica Civil pela Universidade de Kagoshima/Japão (1996) e doutorado em Ciências no Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia da Universidade Federal do Paraná (2005). Tem experiência em pesquisas nas áreas de hidrologia, hidrodinâmica, hidrometeorologia, modelos numéricos, saneamento ambiental e emissões de gases de efeito estufa;



Foto: Akemi Kan

Rafael Geha Serta, nasceu em Curitiba/PR (1983), graduou-se em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (2006), é mestrando no Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná, trabalha com monitoramento dos gases e da qualidade do ar e desenvolve pesquisas na área de sensores para medições de gases;

Éder David Borges da Silva, nasceu em Nova Prata do Iguaçu/PR (1988), graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Paraná (2011). As linhas de pesquisa são: emissões de gases de efeito estufa em reservatórios e em solos, hidrodinâmica, hidrologia e tipologia dos solos;

Giovani Marcel Teixeira, nasceu em Curitiba/PR (1981), graduou-se em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná (2005), possui mestrado em Engenharia Química na Universidade Federal do Paraná (2010), trabalha na Diretoria de Meio Ambiente da COPEL e vem atuando em pesquisas nas áreas de emissões de gases de efeito estufa e limnologia.