

## QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> PELO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES ESTÁDIOS DE RESTAURAÇÃO NO DOMÍNIO DA MATA ATLÂNTICA

Gabriel Ribeiro Castellano<sup>a,\*</sup>, Leandro Xavier Moreno<sup>b</sup>, Amauri Antônio Menegário<sup>a</sup>, José Silvio Govone<sup>a</sup> e Didier Gastmans<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Av. 24A, 1515, 13506-900 Rio Claro – SP, Brasil

<sup>b</sup>Departamento de Física, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Av. 24A, 1515, 13506-900 Rio Claro – SP, Brasil

Recebido em 05/10/2016; aceito em 16/01/2017; publicado na web em 27/03/2017

QUANTIFICATION OF SOIL CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN TWO FORESTED AREAS UNDER DIFERENT REGENERATION STAGES IN ATLANTIC FOREST. In order to quantify emission rates of CO<sub>2</sub> through the soil from the Atlantic forest under different regeneration stages, two areas located in Rio Claro(SP) were studied. In the first area the forest is regenerated (Plot 23) and the average CO<sub>2</sub> emission is 1.91 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, while in the recently planted area (Plot 15), the average emission is 1.38 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. The CO<sub>2</sub> emissions are fairly correlated to soil moisture (r=0.53, P<0.0001), C/N ratio (r=0.27, p<0.05) and time of measurement (r=0.33, p<0.05). Multiple linear regression models developed are better to reproduce CO<sub>2</sub> soil emissions in recently planted area.

Keywords: soil CO<sub>2</sub> emissions, multiple linear regression; infrared gas analyzer; Atlantic forest.

### INTRODUÇÃO

O constante aumento das emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa talvez seja uma das principais preocupações ambientais em tempos atuais. Dentre esses gases destaca-se o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), responsável por cerca de 60% da intensificação do efeito de estufa, uma vez que desde o início da revolução industrial as concentrações desse gás na atmosfera passaram de 280 ppm para cerca de 390 ppm.<sup>1-3</sup>

Nos países em desenvolvimento, mudanças no uso e na cobertura da terra, especialmente em ambientes savânicos e florestais, são apontadas como uma das principais causas do aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico, uma vez que a substituição desses biomas nativos por atividades agrícolas leva ao aumento das emissões de CO<sub>2</sub> pelo solo.<sup>4</sup>

As emissões de CO<sub>2</sub> pelo solo correspondem ao CO<sub>2</sub> produzido pela respiração das raízes e dos microrganismos presentes no solo, responsáveis pela decomposição aeróbica de matéria orgânica (MO), sendo influenciadas pelo tipo de vegetação presente, e pelas características do solo. Dentre as principais características do solo que influenciam as emissões destacam-se: umidade, temperatura, textura e estrutura do solo (características físicas); conteúdo de fósforo, relação C/N, pH (características químicas); atividade microbiana (características biológicas), bem como parâmetros climáticos como temperatura, umidade do ar e radiação fotossinteticamente ativa.<sup>5-14</sup>

Na busca do entendimento dos processos que influenciam o balanço global de carbono e, conseqüentemente, o aquecimento global, diversos estudos e levantamentos foram efetuados nas últimas décadas buscando caracterizar os efluxos de CO<sub>2</sub> pelo solo nos mais diversos biomas do globo terrestre. Emissões em clima temperado são maiores no verão do que no inverno, independentemente do tipo de cobertura vegetal.<sup>15-17</sup>

A quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> também é tema relevante, e a busca por equipamentos de baixo custo e de fácil manuseio em campo tem sido constante. Dentre os métodos empregados, o da câmara dinâmica determina o fluxo de CO<sub>2</sub> emitido baseado na variação de concentração dos gases emitidos pelo solo no interior da câmara,<sup>18</sup>

com determinação direta das concentrações por analisadores de gás infravermelho, também conhecido como IRGAS, do inglês, *Infra Red Gas Analyser*. No presente estudo foi utilizado equipamento desenvolvido a partir de um analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo LI-840 da Li-Cor, acoplado a uma câmara dinâmica, representando alternativa a diversos sistemas comerciais disponíveis.<sup>19</sup>

No Brasil, estudos em ambientes florestais foram realizados especialmente no bioma Amazônico, e taxas de emissão de CO<sub>2</sub> da ordem de 4 a 6 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> foram medidas por diversos autores.<sup>20-23</sup> Nessas áreas foram encontradas relações significativas entre as emissões de CO<sub>2</sub> e a umidade do solo, condicionando a existência de fluxos de carbono maiores para a atmosfera durante a estação chuvosa, indicando que a umidade e a temperatura do solo seriam os principais condicionadores da respiração do solo na área.<sup>24</sup>

No estado de São Paulo não existem registros das taxas de emissão em áreas florestais, especialmente naquelas situadas no bioma da Mata Atlântica, e os levantamentos realizados foram exclusivamente em áreas de cultivo de cana de açúcar, sendo observadas variações nas emissões devido à topografia e aos tipos de manejo empregados.<sup>24-26</sup>

Propostas de restauração florestal indicadas no Pacto pela Restauração da Mata Atlântica preveem o plantio e a restauração de 15 milhões de hectares em todo o Brasil até o ano de 2050.<sup>27</sup> Esta iniciativa irá provocar uma mudança regional no uso e ocupação do solo, o que deve alterar os balanços de CO<sub>2</sub>, ressaltando o papel da Mata Atlântica como reguladora ecossistêmica dessas emissões.

Em função da inexistência de medições das emissões de CO<sub>2</sub> em áreas da Mata Atlântica no estado de São Paulo, o presente estudo teve como objetivo principal a quantificação das taxas de emissão de CO<sub>2</sub> no solo em duas áreas florestais, sob diferentes estágios de regeneração, implantadas com espécies nativas, dentro do domínio morfoclimático da Mata Atlântica, localizadas na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA), na cidade de Rio Claro (SP). Além disso, buscou-se correlacionar essas emissões com parâmetros atmosféricos e físico-químicos do solo, de modo a estabelecer quais dessas variáveis, agrupadas em um modelo estatístico, seriam capazes de prever as taxas de emissão de CO<sub>2</sub> pelo solo para as condições das áreas estudadas.

\*e-mail: grcastellano@gmail.com

## PARTE EXPERIMENTAL

### Descrição da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no município de Rio Claro, SP, em área localizada nas coordenadas 22° 24' 15" de latitude Sul e 22° 24' 15" de longitude Oeste, a 675 m acima do nível do mar. O clima na região é Cwa na classificação climática de Köppen, com médias anuais de precipitação e temperatura, respectivamente, 1534 mm e 20 °C.<sup>28</sup>

A área de estudo estava localizada na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, especificamente num Argiloso Vermelho eutrófico, domínio floresta estacional semidecidual, nos talhões 23 e 15 ocupados com plantios de espécies nativas implantados, que se encontram em estágios distintos de desenvolvimento da vegetação.<sup>28</sup>

A primeira área amostral, o talhão 23, foi implantado em 1916 em uma área de 1,1 ha, com 70 espécies indígenas de 25 famílias diferentes, no espaçamento 2x3 m em linhas homogêneas (mono específicas).<sup>28</sup> Caracterizando-se como uma das primeiras experiências silviculturais com espécies nativas do Brasil, o que demonstra seu valor histórico, das originalmente implantadas restam apenas cerca de 40 espécies, o dossel de grande porte com cerca de 30 a 40 m de altura, a regeneração de sub-bosque é abundante e apresenta outras formas de vida.<sup>29</sup>

A segunda área selecionada, o talhão 15, foi ocupada por eucalipto, entre 1909 e 2004, quando ocorreu o último corte, o local foi colonizado por espécies gramíneas, reflorestado somente em 2014 com aproximadamente 80 espécies indígenas diferentes com o objetivo de restauração florestal. Antes do período de coleta de dados as gramíneas foram dessecadas, em função dessa configuração, e apresenta similaridade com áreas agrícolas, enquanto que no talhão 23 aparentemente as funções ecológicas do solo e da floresta estão reestabelecidas.

### Medição da emissão de CO<sub>2</sub> no solo

As medições das taxas de emissão CO<sub>2</sub> foram realizadas entre os meses de maio de setembro de 2014 e maio de 2015, períodos em que as taxas pluviométricas são menores, evitando-se, dessa maneira, a interrupção dos trabalhos de campo. As medições foram executadas em duas parcelas amostrais de 900 m<sup>2</sup>, nos talhões 15 e 23, nas quais foram instalados 17 e 15 pontos de medição, respectivamente. Buscou-se manter uma distância mínima de 10 m entre os pontos externos, enquanto na porção central a distância entre os pontos foi reduzida para 5 m.

As determinações das taxas de emissão de CO<sub>2</sub> foram realizadas com um equipamento portátil desenvolvido especificamente para

essa finalidade, constituído por um analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo LI-840, da marca Li-Cor, acoplado a uma câmara dinâmica feita com tubos de PVC com diâmetro de 150 mm, por meio de uma bomba de circulação. O volume interno dessa câmara é de 0,0034 m<sup>3</sup> e sua área superficial de 0,016052 m<sup>2</sup>.<sup>19</sup>

Em cada ponto foram efetuadas entre 3 e 5 medidas de fluxo, com tempo de leitura de 3 a 4 minutos que permitia o acúmulo de CO<sub>2</sub> no interior da câmara. Entre cada uma das leituras a câmara era aberta e o CO<sub>2</sub> armazenado no interior da câmara era instantaneamente liberado (Figura 1).

Este sistema possui vantagens em relação aos diversos sistemas comerciais disponíveis para este fim, destacando-se o baixo custo total e de manutenção do sistema, uma vez que tanto a câmara quanto seu sistema de acionamento são feitos com componentes facilmente encontrados no comércio; a possibilidade de controle automático ou remoto via internet; a possibilidade de troca do detector para medidas de outros gases e de medida simultânea de outros parâmetros como, por exemplo, umidade, temperatura, pressão e velocidade do ar no local da amostragem.<sup>19</sup>

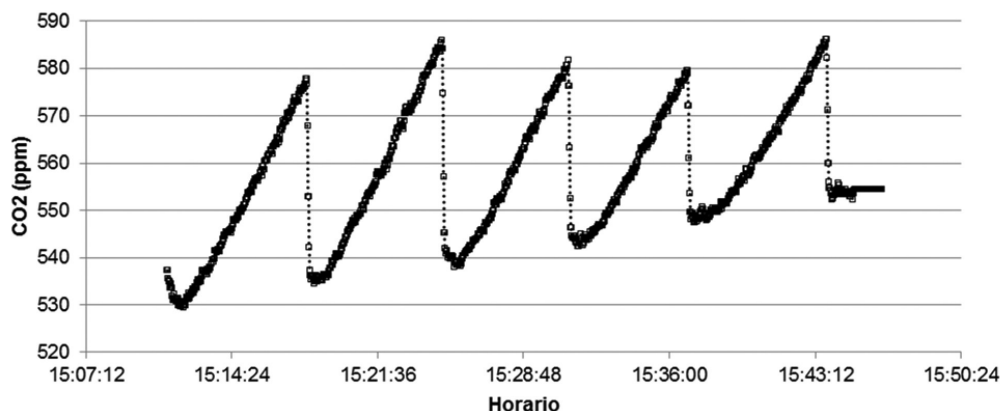
Previamente às leituras de campo, o equipamento foi calibrado com duas misturas de gases com concentrações conhecidas. A primeira mistura contendo apenas nitrogênio puro, portanto com 0 ppm de CO<sub>2</sub> (0% CO<sub>2</sub>), e outro com uma concentração de 354,4 ppm de CO<sub>2</sub> (0,035% CO<sub>2</sub>). Os gases foram adquiridos da White Martins com certificação de concentrações.

Para a fixação da câmara de medição, com 72 h antes das medições, foram instalados anéis de PVC que permaneceram fixos ao solo durante todo o período de coleta, de modo a minimizar efeitos decorrentes da alteração na estruturação da serapilheira. Ao todo foram efetuadas 120 medidas das taxas emissão de CO<sub>2</sub> dessas medições 71 foram realizadas no talhão 15, e 49 no talhão 23.

Em cada ponto de medição do fluxo de CO<sub>2</sub> foram registradas a temperatura e umidade do ar, a pressão com uma estação meteorológica compacta da marca ANOVA, a temperatura do solo por meio do sistema de aquisição de dados KD 2Pro (Decagon, USA), sempre a 5 centímetros do ponto de coleta. Além dessas medições foram coletadas amostras de solo nos talhões 15 (17 pontos) e 23 (10 pontos), com auxílio de canivete, descartando a serapilheira, na camada de 0-5 cm, uma vez por ponto em setembro de 2014, para a determinação em laboratório dos conteúdos de carbono, pelo método de Yemoans e Bremmer, e nitrogênio, determinado pelo método de Kjeldahl.<sup>30,31</sup>

### Análise estatística dos dados

Uma alternativa para avaliar a complexidade das relações existentes entre uma variável dependente e variáveis independentes associadas é o



**Figura 1.** Medições dos fluxos de CO<sub>2</sub> efetuados em campo. Observar o aumento das concentrações, indicando que a câmara estava fechada. As quedas bruscas nas concentrações indicam a abertura da câmara

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos parâmetros estudados no projeto

	Talhão	Emissão (mmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Umid, Ar (%)	Temp, Ar (°C)	P Atm, (hPa)	Umid, Solo (%)	Temp, Solo (°C)	C/N	Horario (h)
Média		1,38	23,97	38,22	937,14	32,10	25,20	11,40	13:38
Máximo		2,59	64,00	50,20	940,80	48,19	35,30	18,81	17:11
Mínimo	15	0,51	11,00	23,70	930,90	21,65	18,31	8,57	07:03
Desvio Padrão		0,54	12,66	7,51	3,86	7,10	4,50	2,55	03:18
Coef. Variação		39,13	52,82	19,65	0,41	22,12	17,86	22,37	18:41
Mediana		1,52	22,00	37,80	940,00	30,49	23,94	10,63	11:14
Média		1,92	67,84	26,36	941,58	53,34	22,12	9,64	14:10
Máximo		3,86	92,00	30,50	949,30	70,00	23,43	11,39	17:30
Mínimo	23	0,61	47,00	18,90	939,20	33,99	18,00	8,19	07:12
Desvio Padrão		0,73	13,39	2,70	3,04	7,77	1,44	1,01	02:18
Coef. Variação		38,02	19,74	10,24	0,32	14,57	6,51	10,48	16:30
Mediana		1,95	66,00	26,20	940,20	53,85	22,51	9,66	14:48

uso de técnicas estatísticas multivariadas como a regressão múltipla, ou técnicas semelhantes, amplamente empregados em estudos ambientais.<sup>32</sup> A avaliação estatística das regressões lineares simples, regressão linear múltipla entre as emissões de CO<sub>2</sub> e as variáveis edafoclimáticas foi realizada com o auxílio do software BIOSTAT 5.0.<sup>33</sup>

Para a regressão múltipla é condição que os erros devem apresentar distribuição gaussiana, sendo independentes entre si com média zero e variância constante. Além desse pressuposto, os dados devem satisfazer: linearidade, homocedasticidade e heterocasticidade, atenção deve ser dada a existência de possíveis pontos discrepantes (*outliers*), bem como a presenças de multicolinearidade entre as variáveis.<sup>32</sup>

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Descrição dos parâmetros estudados no projeto

Os valores de respiração do solo, registrados durante a execução deste projeto, variaram entre 0,51 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 3,86 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, com valor médio de 1,63 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Observou-se, de maneira geral, que as emissões de CO<sub>2</sub> medidas no talhão 15 foram menores que as medidas no talhão 23, com variações respectivamente entre 0,51 e 2,59 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (média de 1,38 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e entre 0,61 e 3,86 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (média de 1,92 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (Tabela 1).<sup>34</sup>

Essas diferenças observadas podem ser associadas ao tipo de cobertura existente em cada uma das áreas. Enquanto no talhão 15, reflorestado em 2014, a cobertura é caracterizada basicamente por espécies gramíneas, que haviam sido dessecadas antes do período de coleta de dados, resultando em espessa camada de palha sobre o solo, associado à pequena quantidade de raízes no solo, no talhão 23, reflorestado em 1916, foi observado que o estado de regeneração florestal é avançado. Na área está presente um denso sub-bosque, com indivíduos arbóreos estabelecidos no dossel da floresta e funções ecológicas reestabelecidas. Consequentemente, verifica-se uma quantidade de raízes maior, presença de serapilheira e melhores condições físico-químicas e biológicas do solo.

As variações observadas para as variáveis edafoclimáticas (Tabela 1) indicam que as maiores médias para os parâmetros umidade do solo e do ar, da relação C/N e da pressão atmosférica foram medidas no talhão 23, enquanto que no talhão 15 foram registradas as maiores médias de temperatura do ar e do solo. As variações

observadas nos parâmetros físicos e químicos do solo (relação C/N e umidade) podem ser associadas às características distintas das duas áreas, enquanto variações nos parâmetros climáticos estão associadas às datas distintas da realização dos levantamentos em cada um dos talhões.

### Emissão de CO<sub>2</sub> e as variáveis edafoclimáticas medidas

Correlações existentes entre as taxas de emissão de CO<sub>2</sub> pelo solo e variáveis ambientais foram observadas por diversos autores.<sup>5-14</sup> As diferenças na cobertura vegetal das duas áreas refletem-se nas correlações entre as variáveis e os fluxos de CO<sub>2</sub> pelo solo (Tabela 2). Enquanto no talhão 15 as taxas de emissão de CO<sub>2</sub> do solo apresentaram uma correlação linear significativa com a relação C/N ( $r = 0,27, p < 0,05$ ) e o horário de medição ( $r = 0,33, p < 0,01$ ), no talhão 23 se observa a correlação linear com a umidade do solo ( $r = 0,55, p < 0,0001$ ).

**Tabela 2.** Coeficientes de correlação entre as emissões e os parâmetros edafoclimáticos levantados em campo

Fatores edafoclimáticos	Emissão CO <sub>2</sub>	
	Talhão 15 (n=71)	Talhão 23 (n=41)
U do ar	-0,11	0,28
T do ar	-0,21	-0,21
Pressão	0,02	0,04
Umidade	0,18	0,53***
T solo	-0,02	0,01
C/N	0,27*	0,04
Horário	0,33**	0,09

\*Significantes a 0,05, \*\* significantes a 0,01, \*\*\*significantes a 0,0001. Valores sem indicação não apresentaram correlações significantes.

A existência de correlação entre a umidade do ar e as emissões de CO<sub>2</sub> foi observada no talhão 23 ( $r=0,28, p<0,055$ ), e está possivelmente associada à conservação da umidade sob o dossel das árvores. Entretanto, a influência deste fator não foi devidamente investigada nestas condições, uma vez que em clima temperado a correlação negativa entre essas variáveis foi observada.<sup>35</sup>

A temperatura do ar apresentou uma correlação negativa com a respiração do solo (Tabela 2) nos talhões 15 ( $r=-0,21$ ,  $p<0,08$ ) e 23 ( $r=-0,21$ ,  $p<0,13$ ), entretanto, sem nível de significância. Apesar da não significância da correlação, o comportamento observado é inverso ao descrito em outros estudos, que mostram uma correlação positiva entre as emissões de  $\text{CO}_2$  e a temperatura.<sup>14</sup>

A umidade do solo apresentou uma correlação positiva significativa com as emissões quando analisados do talhão 23, enquanto no talhão 15 observa-se correlação positiva, porém não significativa (Tabela 2), indicando que a umidade pode ser um dos principais controladores da emissão em áreas já reflorestadas. Essa correlação significativa, entre a umidade e a respiração do solo, foi observada por diversos autores, que justificaram o fato da regulação da atividade microbiana ser feita pela umidade, em decorrência das reações químicas de decomposição da matéria orgânica.<sup>10,23,36</sup>

Quando acontece o aumento da umidade do solo, ocorre o aumento as atividades de degradação da matéria orgânica pelos microrganismos.<sup>36</sup> Entretanto, baixos teores de água no solo afetam a difusão de solutos, enquanto solos saturados afetam a difusão de oxigênio. Ambas as situações podem limitar a atividade microbiana e, conseqüentemente, a respiração do solo.<sup>37,38</sup>

A relação C/N apresentou correlação linear positiva com as emissões no Talhão 15, que acabou de ser reflorestado. Releva-se que as emissões nessa área possuem pouca influência da respiração das raízes das plantas, e possivelmente a quantidade de carbono e nitrogênio no solo podem ser determinantes para a quantidade de  $\text{CO}_2$  emitido.

A correlação linear positiva observada entre a emissão de  $\text{CO}_2$  e o horário da medição no talhão 15 deve-se, possivelmente, à incidência direta da luz solar, resultando em uma maior emissão nos horários de maior sol e, conseqüentemente, de menores umidades e maiores temperaturas do ar.

### Regressão linear múltipla

Apesar da observação de que inúmeras variáveis são correlacionáveis às emissões de  $\text{CO}_2$  medidas nas duas áreas, nenhuma delas é capaz de prever satisfatoriamente os valores da respiração do solo independentemente. Portanto, a regressão linear múltipla é a ferramenta estatística para buscar a previsão e uma variável dependente, quando esta apresenta correlação com diversas variáveis independentes, que pode ser aplicada nesse caso, pois as áreas estão instaladas sobre o

mesmo tipo de solo e regime climático. Para se avaliar a capacidade de as variáveis independentes selecionadas preverem a emissão de  $\text{CO}_2$  pelo solo na área plantada em 1916 a partir dos 49 dados, estimou-se uma equação de regressão linear múltipla utilizando o software BIOSTAT 5.0.<sup>33</sup>

Para a elaboração das regressões foi utilizada a temperatura do ar, pois apresentou melhores resultados na regressão que a temperatura do solo. As variáveis aleatórias utilizadas são a temperatura e umidade do ar, pressão, relação C/N e umidade do solo.

A análise dos resultados indica, em nível de 0,05 de significância, que é possível rejeitar a hipótese de não haver regressão, isto é, o modelo é válido uma vez que o valor  $p=0,0011$  é menor que 0,05. Dessa forma, conclui-se que pelo menos uma das variáveis explanatórias está relacionada com emissão de  $\text{CO}_2$  pelo solo na área do talhão 23.

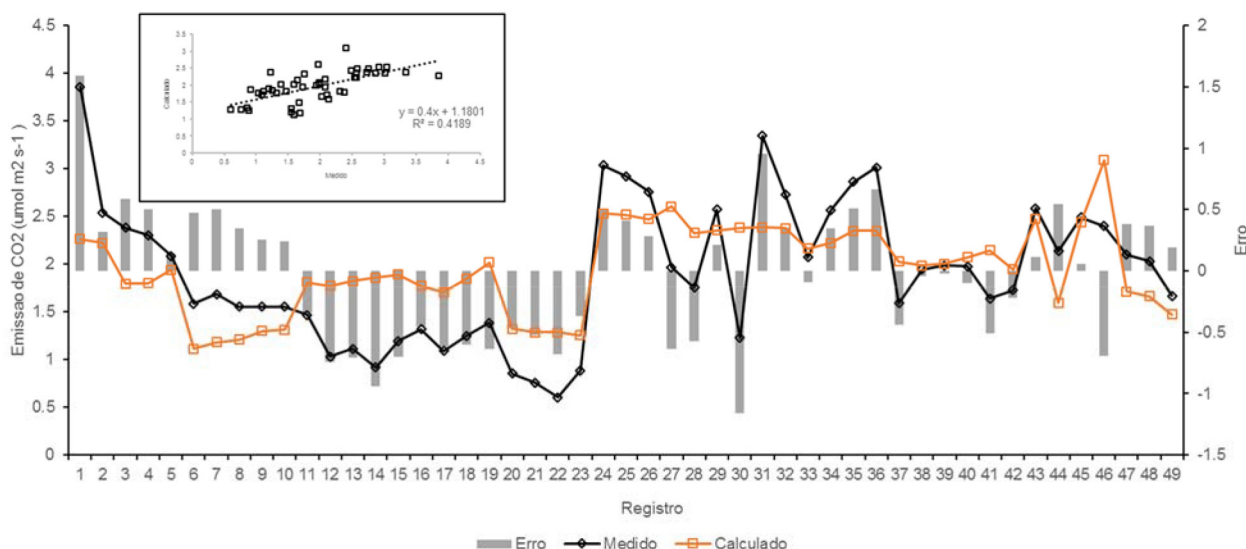
Apenas a variável independente umidade do solo apresentou correlação no nível de significância de 0,05, com coeficiente positivo. A pressão, a temperatura do solo e a correlação C/N apresentaram o coeficiente negativo, porém, não significativas.

O valor do coeficiente de correlação do modelo é bom ( $r=0,62$ ), entretanto, o coeficiente de determinação ajustado é baixo ( $r^2=0,31$ ), indicando que apesar da proporção da variação da emissão de  $\text{CO}_2$  explicada através do conjunto de variáveis explanatórias (Figura 2), o modelo é falho ao estimar valores que não se encontram próximos a média, indicando a possível ocorrência de valores "outliers".

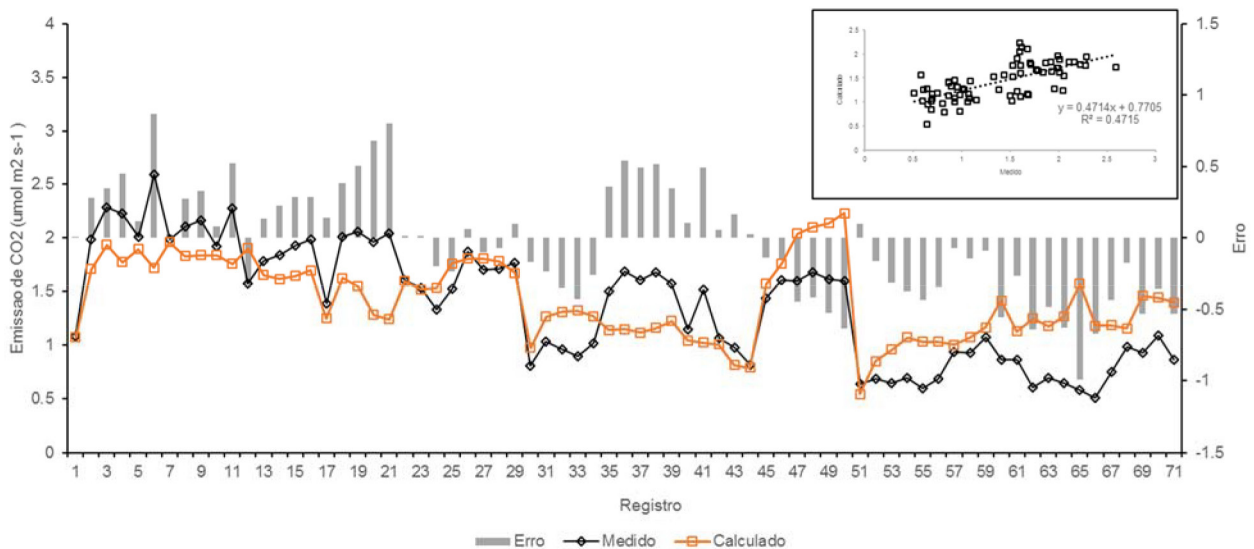
Desta forma, foram observadas que as variáveis selecionadas não são completamente satisfatórias para prever as emissões de  $\text{CO}_2$  nestas condições climáticas e de ocupação do solo no talhão 23.

Para o talhão 15, a análise dos resultados indica, em nível de 0,05, que é possível rejeitar a hipótese de não haver regressão, isto é, o modelo é válido, uma vez que o valor de  $p=0,0001$  é menor que 0,05. Dessa forma, conclui-se que pelo menos uma das variáveis explanatórias está relacionada com emissão de  $\text{CO}_2$ . A constante da equação de regressão e todas as variáveis independentes apresentaram nível de significância inferior a 0,05 e coeficiente positivo, com exceção da umidade e temperatura do ar significante a  $p<0,0001$ , com o coeficiente negativo.

O coeficiente de determinação do modelo é mediano ( $R^2=0,47$ ), assim como a relação ajustada ( $R^2=0,42$ ), o que representa a proporção da variação da emissão de  $\text{CO}_2$  que é explicada através do conjunto de variáveis explanatórias selecionadas (Figura 3). Observa-se que os valores calculados estão superestimando ou



**Figura 2** Gráfico de comparação entre os valores medidos e os valores estimados, e o erro obtido pela regressão linear múltipla no Talhão 23. Observar no alto a correlação entre valores observados e medidos



**Figura 3** Gráfico de comparação entre os valores medidos e os valores estimados, e o erro obtido pela regressão linear múltipla no Talhão 15. Observar no alto a correlação entre valores observados e medidos

superestimando os valores observados e as melhores previsões ocorrem nos valores médios.

Considerando todos os dados observados no projeto, a umidade do solo foi a variável com a maior influência na emissão de CO<sub>2</sub> e os modelos estatísticos de previsão se mostraram insatisfatórios para prever a respiração do solo nestas condições. Portanto, é necessário investigar se as tendências observadas se repetem em meses ou períodos do ano diferentes do observado.

## CONCLUSÕES

O equipamento utilizado para a determinação das taxas de emissão de CO<sub>2</sub> pelo solo mostrou-se eficiente, uma vez que os valores medidos em diferentes leituras no mesmo ponto não apresentaram grandes discrepâncias entre si e os resultados obtidos são compatíveis com os obtidos em outros estudos referentes à respiração do solo. Além disso, quando da abertura da câmara, o tempo decorrido para a diminuição das concentrações originais de CO<sub>2</sub> foi muito pequeno. A automação da câmara dinâmica se mostrou funcional, permitiu facilidade de manuseio e coleta, em função da velocidade de abertura e a possibilidade de realização de inúmeras leituras de um único ponto. Outras vantagens apresentadas pelo sistema de coleta foram o baixo custo total em comparação a modelos similares disponíveis no mercado, a facilidade e o baixo custo de manutenção, uma vez que todas as peças e partes componentes do sistema estão disponíveis no mercado nacional e são de fácil acesso.

Os valores de respiração do solo registrados, durante a execução deste projeto, apresentaram valores similares aos obtidos em experimentos conduzidos no interior de São Paulo na cultura da cana de açúcar após colheita,<sup>22-24</sup> e menores que os registrados em áreas florestais na Amazônia.<sup>18,20,21</sup> Observou-se uma relação importante com a umidade do solo.

Deve ser ressaltado que, em função das propostas de restauração florestal apontadas no Pacto pela Restauração da Mata Atlântica,<sup>27</sup> medições prévias de taxas de emissão de CO<sub>2</sub> nesse bioma irão fornecer subsídios para a melhor compreensão do ciclo do carbono nessas áreas, porém, a determinação de um patamar de emissão, para áreas florestais dentro do domínio morfoclimático da Mata Atlântica, ainda carece de maiores estudos.

A respiração média do solo no talhão 23 foi 39,1%, superior média registrada no talhão 15. Essa diferença é similar às contribuições,

atribuídas por alguns autores, da respiração “autotrófica” e “heterotrófica”.<sup>39</sup> Levando-se em consideração as incertezas associadas, não é possível distinguir claramente sua contribuição.

Existem indícios de alguns fatores determinantes para os menores valores de respiração no talhão 15, estes não foram avaliados nesse projeto: a quantidade do sombreamento do solo pela palhada das gramíneas, já que isso pode afetar as taxas de respiração do solo,<sup>40,41</sup> a quantidade de raízes, relacionada à ausência de indivíduos arbóreos com sistema radicular estabelecido, vento, radiação solar direta e estrutura física do solo.<sup>39</sup>

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor e ao Departamento de Física da UNESP/Rio Claro pelo apoio logístico.

## REFERÊNCIAS

1. Fernandes, T. J. G.; Soares, C. P. B.; Jacovine, L. A. G.; Alvarenga, A. P.; *Rev. Arvore* **2007**, *31*, 657.
2. Denman, K. L.; Brauseur, G.; Chidthaisong, A.; Ciais, P.; Cox, P. M.; Dickson, R. E.; Hauglestaing, D.; Heinze, C.; Holland, E.; Jacob, D.; Lohmann, U.; Ramachandram, S.; Dias, P. L.; Wofsy, S. C.; Zhang, X. Em *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*; Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, B., Tignor, M., Miller, H. L., eds.; Cambridge University Press: Cambridge, 2007, cap. 7.
3. Kuntoro, A.; Wahya, A.; *J. Int. Coop.* **2009**, *15*, 141.
4. Sabine, C. L.; Feely, R. A.; Gruber, N.; Key, R. M.; Lee, K.; Bulowster, J. L.; Wanninkhof, R.; Wong, C. S.; Wallace, D. W. R.; Tilbrook, B.; Millero, F.J.; Peng, T.; Kozyr, A.; Rios, A. F.; *Science* **2009**, *305*, 367.
5. Davidson, E. A.; Savage, K.; Bolstad, P.; Clark, D. A.; Curtis, P. S.; Ellsworth, D. S.; Hanson, P. J.; Law, B. E.; Luo, Y.; Pregitzer, K. S.; Randolph, J. C.; Zak, D.; *Agric. For. Meteorol.* **2002**, *113*, 39.
6. Epron, D.; Bosc, A.; Bonal, D.; Freycon, V.; *J. Trop. Ecol.* **2006**, *22*, 565.
7. Ohashi, M.; Gypkusen, K.; *Soil Biol. Biochem.* **2007**, *39*, 1130.
8. Lloyd, J.; Taylor, J. A.; *Ecology* **1994**, *8*, 315.
9. Davidson, E. A.; Belk, E.; Boone, R. D.; *Global Change Biol.* **1998**, *4*, 217.

10. Kang, S. Y.; Doh, S.; Lee, D.; Jin, V. L.; Kimball, J. S.; *Global Change Biol.* **2003**, *10*, 1427.
11. Duah-yentumi, S.; Ronn, R.; Christenses, S.; *Appl. Soil Ecol.* **1998**, *8*, 19.
12. Allaire, S. E.; Lamg, S. F.; Lafond, J. A.; Pelletier, B.; Cambouris, A. N.; Dutilleul, P.; *Geoderma*, **2012**, *170*, 251.
13. Fuentes, J. P.; Bezdicek, D. F.; Flury, M. Albrecht, S.; Smith, J. L.; *Soil Tillage Res.* **2006**, *88*, 123.
14. Raich, J. W.; Schlesinger, W. H.; *Tellus* **1992**, *44*, 81.
15. Priwitzer, T.; Capuliak, J.; Bosela, M.; Schawars, M.; *Lesn. Cas.* **2013**, *59*, 189.
16. Shindlbacher, A.; Zechmeister-boltenstern, S.; Glatzel, G.; Jandl, R.; *Agric. Forest Meteorol.* **2007**, *146*, 205.
17. Mcdowell, N. G.; Marshall, J. D.; Hooker, T. D.; Musselman, R.; *Tree Physiol.* **2000**, *20*, 745.
18. Varner, R. K.; Keller, M.; Oliveira, C. R.; Dias, J. D.; Pereira, H. C.; Crill, P. M.; Asner, G. P.; *Sci. Total Environ.* **2005**, *9*, 1.
19. Moreno, L. X.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.
20. Sotta, E. F.; Meir, P.; Malhi, Y.; Nobre, A. D.; Hodnetts, M.; Grace, J.; *Global Change Biol.* **2004**, *10*, 601.
21. Trumbore, S. E.; Davidson, E. A.; De Camargo, P. B.; Nepstad, D. C.; Vanhala, P.; *Soil Biol. Biochem.* **2012**, *34*, 1375.
22. Pinto-Junior, O. B.; Sanches, L.; Dalmolin, A. C.; Nogueira, J. S. D.; *Acta Amazonica* **2009**, *39*, 813.
23. Chambers, J. Q.; Treibuzay, E. S.; Toledo, L. C.; Crispim, B. F.; Higuchi, N.; Dos Santos, J.; Araujo, A. C.; Kruji, B.; Nobre, A. D.; Trumbore, S. E.; *Ecol. Appl.* **2004**, *14*, 72.
24. Bicalho, E. S.; Panosso, A. R.; Teixeira, D. D. B.; Miranda, J. G. V.; Pereira, G. T.; La Scala, N. S.; *Agric. Ecosyst. Environ.* **2014**, *189*, 206.
25. Brito, L. F.; Marques Junior, J.; Pereira, G. T.; Souza, Z. M.; La Scala, N.; *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* **2009**, *66*, 77.
26. Panosso, A. R.; Marques Junior, J.; Pereira, G. T.; La Scala Jr., N.; *Soil Till. Res.* **2009**, *115*, 275.
27. <http://www.pactomataatlantica.org.br/o-pacto>, acessada em fevereiro de 2017.
28. <http://fflorestal.sp.gov.br/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/>, acessada em fevereiro de 2017.
29. Silva C. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil, 2013.
30. Yeomans, J.C.; Bremner, J.M.; *Commun. Soil Sci. Plan.* **1988**, *19*, 1467.
31. Kjeldahl, J.; *Zeitschrift für analytische Chemie* **1883**, *22*, 366.
32. Hair Jr, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C.; *Análise multivariada de dados*, 6ª ed., Bookman: Porto Alegre, 2009.
33. Ayres, M.; Ayres, Jr. M.; Ayres, D. L.; Santos, A. S.; *BIOSTAT 5.0*; MCT – CNPq, Belém, 2007.
34. Castellano, G. R.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brasil, 2015.
35. Bilandzija, D.; Zgorelec, Z.; Kisise, I.; *Coll. Antropol.* **2014**, *38*, 77.
36. Shi, W. Y.; Yan, M.; Zhang, J., Guan J., Du S.; *Atmos. Environ.* **2014**, *88*, 74.
37. Linn, D. M.; Doram, J. W.; *Soil Sci. Soc. Am. J.* **1984**, *48*, 1267.
38. Skopp, J.; Jawson, M. D.; Doran, J. W.; *Soil Sci. Soc. Am. J.* **1990**, *54*, 1619.
39. Kutsh, W. L.; Banh, M.; Heinmeyer, A.; *Soil Carbon Dynamic: an integrated methodology*. 1<sup>th</sup> ed., Cambridge University Press: Nova York, 2010.
40. Craine J. M.; Wedin, D. A.; Chapin F. S.; *Plant Soil* **1992**, *207*, 77.
41. Wan S.; Luo Y.; *Global Biogeochem. Cycles* **2003**, *17*, 1054.