



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL**

**EFLUXO DE C-CO<sub>2</sub> E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE DUAS ENCOSTAS**  
**SOB PASTAGEM**

**GALILEU MEDEIROS DA SILVA**

**AREIA- PB**

**FEVEREIRO DE 2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL**

**EFLUXO DE C-CO<sub>2</sub> E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE DUAS ENCOSTAS  
SOB PASTAGEM**

**Galileu Medeiros da Silva**

**Orientando**

**Prof. Dr<sup>a</sup>. Vânia da Silva Fraga**

**Orientadora**

**AREIA- PB**

**FEVEREIRO DE 2018**

**GALILEU MEDEIROS DA SILVA**

**EFLUXO DE C-CO<sub>2</sub> E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE DUAS ENCOSTAS  
SOB PASTAGEM**

Trabalho de Graduação apresentado à  
Coordenação do Curso de Agronomia da  
Universidade Federal da Paraíba, Centro  
de Ciências Agrárias, em cumprimento  
às exigências para a obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo.

**ORIENTADORA: Prof. Dr<sup>a</sup>. Vânia da Silva Fraga**

**AREIA – PB**

**FEVEREIRO DE 2018**

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da  
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

S586e Silva, Galileu Medeiros da.  
Efluxo de c-co2 e atributos físicos do solo de duas encostas sob pastagem. /  
Galileu Medeiros da Silva. - Areia: UFPB/CCA, 2018.  
45 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Centro de  
Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

Bibliografia.

Orientadora: Vânia da Silva Fraga.

1. Solos – atributo físico. 2. Precipitação pluvial. 3. Pastagem. I. Fraga, Vânia da  
Silva. (Orientadora). II. Título.

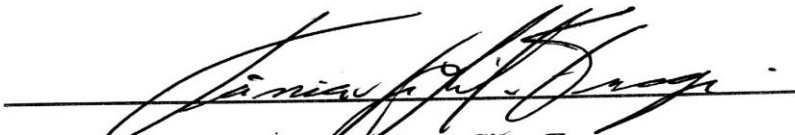
UFPB/CCA


CDU: 631.4

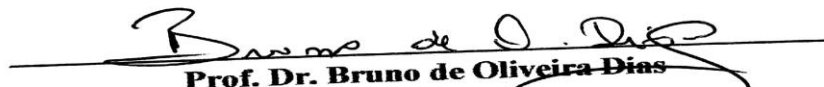
**GALILEU MEDEIROS DA SILVA**

**EFLUXO DE C-CO<sub>2</sub> E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE DUAS ENCOSTAS  
SOB PASTAGEM**

MONOGRAFIA APROVADA EM: 06/02/2018

  
**Prof. Dr. Vânia da Silva Fraga**  
**Orientadora**  
**DSER/CCA/UFPB**

  
**Msc. Tiago de Carvalho Pessoa**  
**Examinador**  
**PPGCS/CCA/UFPB**

  
**Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias**  
**Examinador**  
**DSER/CCA/UFPB**

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, Aos meus pais, Ao meu filho, A minha esposa, a todos aqueles que contribuíram direto ou indiretamente durante toda trajetória acadêmica, para minha formação.

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por sempre estar presente em todos os momentos de minha vida iluminando meus caminhos, por ter me proporcionado várias oportunidades durante toda minha vida acadêmica, abençoando-me e dando força nos momentos de dificuldade. Por ter sido minha base nas horas de fraqueza, dando-me coragem e força para nunca desistir de meus sonhos e sempre alcançar meus objetivos.

Aos meus pais Marizaldo Gomes da Silva e Kátia Cilene Medeiros Silva, pela minha formação moral, pelo apoio em todas minhas dificuldades. Obrigado pela educação, amor, incentivo e apoio total em todas as minhas decisões e escolhas, principalmente em relação a minha vida acadêmica.

Ao Meu filho Victor Gabriel Medeiros da Silva, alegrando sempre nossas vidas com suas brincadeiras, companheirismo, e todo seu amor transmitido.

A minha esposa Luana Silva pelo amor, incentivo, compreensão, paciência e por entender minha ausência durante essa trajetória acadêmica, principalmente em algumas datas inesquecíveis.

A toda minha família pela atenção, presteza e ensinamentos transmitidos.

A todos os professores que contribuíram durante todo meu percurso até o ensino médio, obrigado por tudo.

A Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, pela oportunidade de aprendizado e fornecimento de todas as condições confortáveis de estudo.

À Professora Dr<sup>a</sup>. Vânia da Silva Fraga, orientadora, agradecer o apoio, a partilha do saber. Obrigado por estimular meu interesse pelo conhecimento e pela vida acadêmica. Obrigado por ter me ensinado a ser uma pessoa melhor, por ter me ajudado e compartilhado seu conhecimento, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Bruno de Oliveira Dias, não apenas pelas suas sábias orientações, ensinamentos, mas pelo vínculo de companheirismo e amizade adquirido ao longo de toda vida acadêmica.

Ao meu segundo orientador, Tiago de Carvalho Pessoa (Doutorando), pelos ensinamentos, pelas contribuições para a realização deste trabalho. Obrigado por me receber sempre bem nos momentos em que fui ao seu auxílio. Muito obrigado!

A toda equipe do Laboratório de Matéria Orgânica do Solo. João Ítalo, Mateus (Zé), Marianne, em especial a Kalline (Doutoranda), pela sua amizade, compromisso, e por sempre está disponível para os ensinamentos no laboratório.

A todos os Professores que fazem parte do Centro de Ciências Agrárias, que contribuíram para minha formação acadêmica. Obrigado a todos!

Aos amigos de turma que me deram a chance de conviver com eles: Diego Alves (Gordão), Adeildo Reis (Buiu), Ian (o Mago), Gabriel (Gata Maga), Érico (Marrom Bombom), Expedito Cavalcante (O Nego), Francisco Jeanes (Chico), Fabiano, Josevan (Barroso), Andressa Kamila, Vanda Maria, Karol, Sabrina, Valdeir. Obrigado pela amizade, companheirismo, ensinamentos compartilhados nas disciplinas. Foi bom poder contar com o apoio de todos vocês.

Aos amigos que tive a chance de conhecer no CCA, João Paulo, João Ítalo, Mateus (zé), Geovane Melo, José Maria, Tales Gil (in memoriam), Jesus, Marcos Antônio, Raul, Antônio Neto (Pipoca), Alex Pacheco, André Espinosa, Manoel Félix, e muitos outros que não citei, obrigado a todos.

Enfim, agradeço a todos que não foram citados, mas que de certa forma contribuíram para a realização deste sonho, estimulando-me a buscar o conhecimento.

**Agradeço a todos!**



# SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	.ii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	.iii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	.iv
<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	.13
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	.14
2.1.    Objetivo Geral.....	15
2.2.    Objetivos Específicos .....	15
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
3.1.    Função ecossistêmica do solo na mitigação do efluxo de C-CO <sub>2</sub> .....	15
3.2.    Influência da granulometria do solo na emissão de C-CO <sub>2</sub> .....	16
3.3.    Influência da temperatura e umidade do solo na emissão de CO <sub>2</sub> .....	17
3.4.    Emissão de CO <sub>2</sub> autotrófico e heterotrófico do solo.....	19
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
4.1.    Localização da área de estudo, clima e solo .....	19
4.2.    Classificação e divisão das encostas .....	20
4.3.    Caracterização física do solo .....	21
4.4.    Medidas meteorológicas durante o experimento .....	22
4.5.    Efluxo de C-CO <sub>2</sub> .....	23
<b>5.RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
<b>6.CONCLUSÕES</b> .....	34
<b>7.REFERÊNCIAS</b> .....	34

EFLUXO DE CO<sub>2</sub> E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE DUAS ENCOSTAS  
SOB PASTAGEM

RESUMO

O carbono armazenado na matéria orgânica dos solos é duas vezes maior que o carbono encontrado na atmosfera, na forma de CO<sub>2</sub>. As pastagens são responsáveis por grande parte desse montante de carbono armazenado nos solos, por isso, as emissões em pastagens precisam ser melhor quantificadas, para se conhecer o comportamento das emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do ano. Diante disso, foi executado um trabalho objetivando caracterizar fisicamente e avaliar o efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo ao longo de uma encosta sob pastagem, nas distintas posições (ombro, meia encosta e pedimento) em duas encostas durante o período chuvoso. O experimento foi realizado na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, localizada entre os municípios de Areia/PB e Remígio/PB. As encostas onde ocorreu o presente estudo são compostas pela posição do ombro, meia encosta e pedimento, onde foram coletadas amostras de solo para análises físicas, em cada posição e nas mesmas posições foi avaliado o efluxo de C-CO<sub>2</sub> ao longo do tempo. Em todas as datas de avaliação foi registrada a quantidade de chuva precipitada nas duas encostas. Para análise dos dados foi utilizado um esquema fatorial 2x3x5 que correspondem a duas encostas uma encosta sob pastagem de 20 anos e uma encosta sob pastagem de 1 ano, três posições do relevo (ombro, meia encosta e pedimento) e 5 quantidades de chuvas ao longo do ano. O efluxo de CO<sub>2</sub> foi avaliado semanalmente, durante os sete meses até o final do período chuvoso, pela quantidade de CO<sub>2</sub> capturado na superfície do solo, através da captura do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) dentro de câmaras estáticas, por 40 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1 Mol L<sup>-1</sup> contidos dentro de um recipiente durante 24 horas. Os valores médios do efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo foram submetidos à análise de variância e quando pertinente comparado às médias das posições pelo teste de Tukey (P≤0,05). Na posição do ombro, os maiores valores foram verificados nas primeiras coletas, mês de maio, junho e julho de 2016, justamente nos meses mais chuvosos, enquanto que nos meses mais secos verificaram-se os menores valores das emissões de C-CO<sub>2</sub>. Nas posições da meia encosta e pedimento, houve uma tendência de aumento das emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo, com as maiores precipitações, comportamento semelhante em ambas às pastagens, isso ocorre devido a íntima relação que há entre umidade do solo e atividade microbiana, e em períodos em que o conteúdo de água no solo é pequeno, ocorre redução da atividade microbiana e conseqüentemente redução das emissões de C-CO<sub>2</sub>. Na encosta sob pastagem de 20 anos, as maiores emissões foram obtidas na posição do pedimento em todas as precipitações maiores que 1.6 mm. Concluiu-se que entre as posições das encostas, a que apresentou os maiores valores de emissão de C-CO<sub>2</sub> foi o pedimento, nas duas encostas sob pastagem, e que as emissões de carbono do solo são diretamente proporcionais a precipitação pluvial.

**Palavras Chave:** Textura do Solo, Precipitação Pluvial, Posições do Relevo, Idades da pastagem.

**GALILEU MEDEIROS DA SILVA**

**EFLUXO DE CO<sub>2</sub> E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DE DUAS ENCOSTAS  
SOB PASTAGEM**

**ABSTRACT**

The carbon quantity stored in the organic matter of the soils is twice higher compared to the carbon found in the atmosphere, in the form of CO<sub>2</sub>. Pastures contribute in a large part of these quantities of carbon stored in the soil, therefore, emissions in pasture need to be better quantified in order to know the behavior of the CO<sub>2</sub> emissions throughout the year. Based on that, the aim of this study was to physically characterize e evaluate the C-CO<sub>2</sub> efflux of the soil, along a slope in different positions (shoulder, half-slope and pediment) in two slopes during the rainy season. The experiment was carried out in the microbasin of Vaca Brava, located between the municipalities of Areia and Remígio - Paraíba. The slopes where the present study was performed are composed by the position of the shoulder, half-slope and pediment, where were collected the soil samples for physical analysis, at each position and in the same positions was evaluated the efflux of C-CO<sub>2</sub> over time. On every evaluation date, the precipitation on both slopes was recorded. To analyze the data, a 2x3x5 factorial scheme was used, which correspond to the two slopes, one slope under 20 years of pasture and one slope under 1 year of pasture, three relief positions (shoulder, half slope and pediment) and 5 rainfall quantities throughout the year. The CO<sub>2</sub> efflux was weekly evaluated until the end of the rainy season, by the amount of CO<sub>2</sub> captured on the soil surface, and capture of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) inside static chambers, by 40 mL of a solution of sodium hydroxide (NaOH) to 1 Mol L<sup>-1</sup> contained in a vessel for 24 hours. The mean of C-CO<sub>2</sub> efflux values of the soil were submitted to analysis of variance and when relevant compared to the means of the positions by the Tukey test (P≤0.05). In the shoulder position, the highest values were verified in the first collections, in May, June and July of 2016, in the wettest months, while in the drier months the lowest values of C-CO<sub>2</sub> emissions were observed. In the half-slope and pediment positions, there was a tendency to increase soil C-CO<sub>2</sub> emissions, in the highest rainfall, similar behavior in both pastures, due to the intimate relationship between soil moisture and microbial activity, and in periods when the soil water content is low, there is a reduction in microbial activity and consequently a decrease of C-CO<sub>2</sub> emissions. In the slope under 20 years of pasture, the highest emissions were obtained at the pediment position in all of precipitations higher than 1.6 mm. It was concluded that between the positions of the slopes, the one with the highest C-CO<sub>2</sub> emission values was the pediment, in the two slopes under pasture, and that the soil carbon emissions are directly proportional to rainfall.

**Keywords:** Soil texture, precipitation, relief positions, pasture age.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Posições do relevo na topossequência (Santos et al., 2002). .....21**Erro!  
Indicador não definido.**
- Figura 2.** Eventos de chuva em cinco datas de avaliação, correspondendo a sete meses de monitoramento, durante o ano de 2016. .... 23
- Figura 3.** Efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo em duas encostas sob pastagem, uma com 20 anos de uso (Encosta 1) e uma com 1 ano de uso (Encosta 2) nas posições do ombro (A), meia encosta (B) e pedimento (C) em meses do ano de 2016. .... 25
- Figura 4.** Efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo em três posições ombro, meia encosta e pedimento de duas encostas sob pastagem, uma com 20 anos de uso (E1) e uma com 1 ano de uso (E2) em meses do ano de 2016. .... 28

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Atributos físicos do solo, na camada de 0-0,10 m de profundidade, nas posições do ombro, meia encosta e pedimento em duas encostas com pastagens com diferentes idades de estabelecimento..... 22

**Tabela 2.** Efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo nas posições do ombro, meia encosta e pedimento em duas encostas sob pastagem, uma com 20 anos de uso e uma com 1 ano de uso em função da precipitação pluvial..... 32

## 1. INTRODUÇÃO

Uma cultura que apresenta grande importância na estabilização de carbono são as pastagens, pois as mesmas possuem um sistema radicular bem desenvolvido, são ricas em carbono orgânico, e são importantes na fixação de CO<sub>2</sub> (FRANK et al., 2002). Entre os ecossistemas, as pastagens são consideradas fundamentais no sequestro de carbono atmosférico, por fazerem parte de grandes áreas plantadas no território nacional.

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é produzido facilmente nos primeiros 10 cm da superfície do solo, por meio da atividade microbiana, através da decomposição aeróbica da matéria orgânica, e respiração do sistema radicular das plantas (D'ANDRÉA et al., 2010).

As emissões de CO<sub>2</sub> é um dos principais parâmetros que se relacionam com a respiração, processo este que é geralmente estimulado pelo preparo e umidade do solo, entre outros. No Brasil, cerca de 75% das emissões de CO<sub>2</sub> são causadas pela mudança no uso da terra e pela agricultura (CERRI & CERRI, 2007). De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) o País encontra-se na 4ª colocação mundial, na emissão de gases do efeito estufa, principalmente o CO<sub>2</sub> (IPCC, 2014).

Para quantificar o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, é necessário a avaliação da taxa respiratória ou atividade microbiana, gerada pela evolução do CO<sub>2</sub> proveniente da respiração de microrganismos heterotróficos aeróbicos durante a oxidação de compostos orgânicos (KENNEDY & SMITH, 1995), no entanto, em condições de campo, tais medidas geralmente quantificam o CO<sub>2</sub> de origem autotrófica (respiração radicular) e heterotrófica (atividade dos microorganismos) de forma indissociável. A comunidade microbiana do solo tem sido muito útil para explicar a dinâmica dos diferentes manejos aplicados no solo (LAUBER et al., 2013). Pois, em solos desprovidos da cobertura vegetal a respiração é exclusivamente heterotrófica, isto é, ocorre através do metabolismo de diversos organismos agregados aos substratos e compostos orgânicos (GRAF et al., 2010; HERBST et al., 2012).

Dentre os fatores bióticos e abióticos que controlam o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo; destacam-se a disponibilidade de água e a temperatura do solo (VINCENT et al., 2006). De acordo com Vargas et al., (2014) a temperatura e a umidade do solo são os principais parâmetros que exercem uma forte influência no processo de produção e transporte do CO<sub>2</sub> do solo à atmosfera, como também participa no controle de tais processos em intensidade e frequência. A ocorrência de eventos pluviométricos (chuva) influencia na dinâmica entre o movimento de água e gases no interior do solo, com o aumento do teor de água no solo há

um favorecimento na saída de elevadas quantidades de CO<sub>2</sub> do interior do solo, devido à ocupação dos espaços porosos do solo pela água (VARELLA et al., 2004; SMART & PEÑUELAS, 2005).

Além do teor de umidade, a textura do solo também apresenta forte influência nas variações das emissões de CO<sub>2</sub> do solo (FÓTI et al., 2016; BALL, 2013). Onde as características texturais condicionam as diferenças nos teores de água no solo, que possivelmente apresenta influência direta sobre as variações da respiração em solos sem cobertura vegetal (HERBST et al., 2012).

Os gases e a água competem pelo espaço poroso do solo, pois quando esses poros encontram-se parcialmente ou totalmente preenchidos por água, ocorre uma redução na disponibilidade de gases para os microorganismos, e conseqüentemente há uma redução na sua respiração (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Em encostas, além do peculiar efluxo de CO<sub>2</sub>, há variações nos atributos físicos e químicos do solo em função das distintas posições do relevo, devido à maior susceptibilidade aos efeitos da erosão hídrica que carregam sedimentos das posições mais altas para as posições mais baixas do relevo, pela diminuição da taxa de infiltração e aumento da velocidade de escoamento superficial da água (SANTOS et al., 2009; SANTOS & SALCEDO, 2010). Além disso, o relevo é um fator determinante que apresenta uma forte influência nos valores da emissão de CO<sub>2</sub> do solo (BRITO et al., 2009; KONDA et al., 2010), bem como, a cultura que está implantada.

O Brasil possui cerca de 172 milhões de hectares ocupados por pastagens cultivadas e nativas, dentre os quais, os gêneros *Brachiaria* (*Urochloa*) ocupam mais de 70% dessas áreas (VALLE et al., 2001). Mas, grande parte destas áreas encontra-se em estado de degradação. Segundo LEITE (2010) a recuperação de pastagens degradadas pode ser uma das alternativas de sequestro de carbono, reduzindo assim uma quantidade de até 104,5 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq, que poderiam contribuir para agravar o efeito estufa. Dentre os planos do setor agrícola brasileiro, encontra-se o plano ABC (Agricultura de baixa emissão de carbono) onde um dos principais e mais importante compromissos da agropecuária para mitigação e adaptação às mudanças do clima é a recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas, objetivando diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> do solo, com um potencial de mitigação de 83 a 104 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq (MAPA, 2012).

## **2. OBJETIVOS**

## **2.1. Objetivo Geral**

Caracterizar fisicamente o solo e avaliar o efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo em três posições do relevo (ombro, meia encosta e pedimento) de duas encostas sob pastagem de Braquiária (*Urochloa decumbens*) com diferentes idades (uma encosta sob pastagem com 20 anos de uso, e uma encosta sob pastagem no 1º ano de uso).

## **2.2. Objetivos Específicos**

1. Determinar, até 10 cm de profundidade, a granulometria do solo nas distintas posições do relevo, em duas encostas sob pastagem, com distintos anos de implantação.
2. Avaliar a influência das posições (ombro, meia encosta e pedimento) de duas encostas sob pastagem, em distintos anos de implantação, no efluxo de C-CO<sub>2</sub>.
3. Verificar se o efluxo de C-CO<sub>2</sub> varia entre as posições dentro das encostas e entre as encostas ao longo do ano, em função da precipitação pluviométrica.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Função ecossistêmica do solo na mitigação do efluxo de C-CO<sub>2</sub>**

Dentre os compartimentos naturais de reserva de carbono, os solos são considerados os mais importantes. Podendo ser encontrado nesses reservatórios uma quantidade de até 1.500 Gt de Carbono, em profundidades de até 1 m (SCHARLEMANN et al., 2014). A quantidade de carbono armazenado na matéria orgânica dos solos é maior do que a quantidade de carbono encontrado na atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>, determinando assim um estoque de 1300 a 1500 Pg (1Pg = 109 toneladas) nos primeiros 100 cm de solo (LAL, 2004) e outros 600 Pg de C na vegetação, que quando se obtém seu produto equivale a uma quantidade maior do que o C contido na atmosfera (LAL, 2008). Pois como Brienen et al. (2015) relatam, um dos pontos primordiais para o monitoramento do solo é o seu potencial em estocar carbono, indicando assim a qualidade do mesmo, tanto a médio quanto a longo prazo. Sendo assim, em função de algumas atividades que estimulam a emissão de gases para a atmosfera, como por exemplo, o preparo do solo, uma quantidade de 3,5 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> podem ser emitidos a mais, quando comparado às áreas que



permanecem sem preparo, a exemplo do sistema de plantio direto, e às áreas de pastagem (SILVA-OLAYA et al., 2013; MELLO et al., 2014).

A conversão de florestas nativas para áreas de pastagens (CERRI et al., 2009) e as operações agrícolas (IAMAGUTI et al., 2015) se enquadram dentro das principais atividades agrícolas que causam alterações no uso e manejo dos solos, causando inicialmente um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>.

No Brasil, algumas práticas agrícolas, sobretudo aquelas que incluem às mudanças do uso e manejo dos solos são indicadas como as principais responsáveis por 75% das emissões de CO<sub>2</sub>, 94% das emissões de N<sub>2</sub>O e 91% das emissões de CH<sub>4</sub> (CERRI et al., 2009). Portanto Teixeira et al. (2010) estudando a emissão de CO<sub>2</sub> em função do preparo do solo, verificaram que após o preparo do solo, a escarificação sem rolo destorroador apresentou menores taxas das emissões de CO<sub>2</sub> quando comparada ao solo submetido a aração e gradagem. Já Krištofet et al. (2014) analisaram intervenções agrícolas, como o plantio direto e o preparo reduzido (arado) , e obtiveram resultados em que se constatou aumento da taxa de emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, em função da intensidade de preparo.

### **3.2. Influência da granulometria do solo na emissão de C-CO<sub>2</sub>**

As intervenções agrícolas contribuem com diversas alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (LA SCALA et al., 2006; SCHWARTZ et al., 2010; MOITINHO et al., 2013; IAMAGUTI et al., 2015). Sendo que os principais fatores físicos e químicos do solo que contribuem para a emissão de CO<sub>2</sub> do solo, são: densidade do solo (TEIXEIRA et al., 2013), macro e microporosidade (PANOSSO et al., 2011), teor de matéria orgânica (LAL, 2009) e carbono orgânico (COSTA et al., 2008; LAL, 2009; SILVA et al., 2014; IAMAGUTI et al., 2015). Ficando entre os mais afetados pelo manejo do solo, a porosidade (SOUZA, 2017). Segundo Kay; Vandenbygaart (2002) a porosidade do solo afeta a infiltração, o acúmulo e a drenagem da água ao longo do perfil do solo, além de afetar o fluxo e a distribuição de ar no solo, contribuindo assim para as diversas alterações que ocorrem nas emissões de CO<sub>2</sub> do solo.

De acordo com Souza (2017) elevadas densidades do solo em combinação com uma baixa porosidade comprometem a atividade biológica do solo. Sendo assim, segundo Li et al. (2002) ocorre diminuição de até um terço na coleção de microrganismo no solo

(bactérias, fungos e actinomicetos), o que contribui para a diminuição nas taxas de emissão de CO<sub>2</sub>. Avaliando a emissão de CO<sub>2</sub> em solo de textura arenosa (NOVARA et al., 2012), constataram uma redução de um terço na emissão de CO<sub>2</sub> quando a densidade do solo atingiu 1,5 g cm<sup>-3</sup>. Pois como Moreira; Siqueira (2006) descreveram, a quantidade de CO<sub>2</sub> nos poros do solo é expressivamente maior na quantidade de 10 a 100 vezes, do que a quantidade encontrada na atmosfera. Mostrando assim que esse aumento na quantidade de CO<sub>2</sub> nos poros do solo advém da atividade respiratória no solo, sendo que 20% e 80% desse aumento na concentração de CO<sub>2</sub> é proveniente da respiração radicular e da atividade biológica do solo, respectivamente (MELILLO et al., 2002).

Para Braga et al. (2015) os solos que apresentam textura arenosa apresentam maior organização entre as partículas e são mais resistentes a forças externas, proporcionando assim condições favoráveis a atividade microbiana. Segundo Fóti et al. (2016) a composição espacial dos atributos do solo são interferidas por vários fatores de uma forma altamente complexa devido à covariação espacial e temporal entre os fatores influenciadores. De acordo com Brito et al. (2010); Herbst et al. (2012); Fóti et al. (2016) a classe textural do solo, como também sua topografia podem contribuir para a variação espacial e temporal da emissão de CO<sub>2</sub> do solo.

Para Brito et al. (2010), além dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo a dinâmica da emissão de CO<sub>2</sub> depende também das práticas de manejo do solo a serem adotadas, bem como das condições climáticas locais. Por isso vale salientar que, das mais variadas alterações que ocorrem nos fatores ambientais, isso gera consequências nas emissões de CO<sub>2</sub>, causando assim grandes variações nesse processo (HU et al., 2011).

### **3.3. Influência da temperatura e umidade do solo na emissão de CO<sub>2</sub>**

Levando em consideração as alterações diárias na emissão de CO<sub>2</sub>, as condições climáticas são determinantes na intensidade deste fenômeno, visto que atuam diretamente sobre a temperatura e a umidade do solo, que são um dos principais fatores controladores do processo de emissão, por meio de seus efeitos sobre a atividade microbiana e de raízes (TSAI et al., 1992). Pois como afirmam Sotta et al. (2006); Herbst et al. (2012), as condições climáticas interferem intensamente sobre a temperatura e umidade do solo. Segundo Silva-Olaya et al. (2013) um aumento na temperatura acelera a decomposição da matéria orgânica, a atividade microbiana e das raízes, conseqüentemente, influencia a

emissão de CO<sub>2</sub>, que reage exponencialmente aos aumentos na temperatura do solo (DAVIDSON et al., 2000).

Considerando o estudo de alguns autores a umidade do solo também se destaca quando se trata da avaliação da emissão de CO<sub>2</sub>, pois a mesma participa no controle dos processos de produção (EPON et al., 2006; LAL, 2009; CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012), do transporte (KANG et al., 2000) e da emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera (LA SCALA et al., 2006; SCHWARTZ et al., 2010). Mas dependendo da umidade, esses processos podem ser tanto favorecidos quanto inibidos (LAL, 2001; SCHWARTZ et al., 2010), já que envolve a atividade microbiana e a difusão de gases. Pois como relatam Ordóñez-Fernandez et al. (2008) que a interação entre a umidade do solo e o seu espaço poroso, são os grandes responsáveis por tais processos.

Diversos autores analisaram que a emissão de CO<sub>2</sub> está correlacionada com a umidade do solo (SMITH et al., 2003; SMART; PEÑUELAS, 2005; LA SCALA et al., 2006; PANOSSO et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2011; MOITINHO et al., 2013; SILVA et al., 2014) e com a temperatura do solo (SMITH et al., 2003; USSIRI; LAL, 2009; ACRECHE et al., 2013; KARHU et al., 2014; IAMAGUTI et al., 2015).

Dilustroet al. (2005), estudando a influência da umidade e da textura do solo na emissão de CO<sub>2</sub> do solo, constataram que, em solo de textura argilosa, a emissão de CO<sub>2</sub> do solo foi maior quando comparado ao solo com textura arenosa. De acordo com Kainiemi, (2014) as propriedades texturais de cada solo apresentam certa influência na emissão de CO<sub>2</sub> do solo, visto que a respiração do solo apresenta uma sensibilidade maior a oscilações rápidas na quantidade de água em solos argilosos, quando comparado com solos arenosos.

Diversos autores estudaram a emissão de CO<sub>2</sub> em função da umidade e temperatura do solo, em áreas agrícolas e de florestas, e verificaram que as emissões de CO<sub>2</sub> podem variar tanto espacialmente como temporalmente (LA SCALA et al., 2010; SAVVA et al., 2013; KONCZ et al., 2015). Segundo Kanget al. (2000), a presença da cobertura vegetal em solos submetidos a manejos conservacionistas, contribuem para as mudanças no teor de água do solo, induzindo assim a heterogeneidade espacial ao afetar a capacidade de retenção de carbono, água e nutrientes. Por isso a variação na emissão de gases, por exemplo, o CO<sub>2</sub>, de efeito estufa no solo tanto espacial quanto temporal é ainda maior, já que os gases são produzidos ou consumidos por uma ampla variedade de organismos (MOITINHO, 2017).

### **3.4. Emissão de CO<sub>2</sub> autotrófico e heterotrófico do solo**

Em solos desprovidos de cobertura vegetal, a atividade respiratória é apenas heterotrófica, ou seja, ocorre somente através do metabolismo de diversos organismos associados aos substratos e compostos orgânicos (GRAF et al., 2010; HERBST et al., 2012). Segundo Dias (2006), o dióxido de carbono é produzido na superfície do solo, principalmente pela participação de microorganismos na decomposição aeróbia da matéria orgânica, e pela respiração de raízes, a qual é denominada de respiração do solo.

Segundo Kuzyakov (2006) a emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera ocorre em consequência da decomposição da serapilheira, da respiração da raiz, da decomposição das raízes mortas, da respiração fúngica e da respiração microbiana do solo, dificultando assim identificar as diferentes fontes de emissão de CO<sub>2</sub>. Sendo assim, muitos estudos verificaram que existe uma relação entre a biomassa e a atividade da microbiota do solo com as variabilidades nas emissões de CO<sub>2</sub> (FANG et al., 1998; XU; QI, 2001; SCHWENDENMANN et al., 2003; KONDA et al., 2010).

De acordo com Zanata (2008) o balanço de C no solo é condicionado pela relação entre as adições de C fotossintetizado pela planta (parte aérea e raízes) a as saídas de C para a atmosfera proveniente da oxidação microbiana do C orgânico à CO<sub>2</sub>.

A respiração do solo, denominada também de respiração edáfica, é a somatória das liberações de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, resultante de vários processos que ocorrem na serrapilheira, superfície e camadas mais profundas do solo (KEPLER, 1990).

De acordo com Malhi (2009) o termo "respiração" se divide em dois: "respiração autotrófica" (CO<sub>2</sub> liberado diretamente pelas plantas como produto de sua própria atividade metabólica) e "respiração heterotrófica" (CO<sub>2</sub> respirado por herbívoros, detritívoros, e de níveis tróficos mais altos, à medida que consomem e quebram matéria orgânica).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Localização da área de estudo, clima e solo**

O experimento foi conduzido na microbacia hidrográfica de Vaca Brava (compreendida entre as coordenadas geográficas: 06°57'48" e 06°59'43" de latitude S e 35°44'03" e 35°45'59" de longitude O) (SANTOS & SALCEDO, 2010) que possui predominantemente dois tipos de uso do solo, uma área de reserva ecológica e outra de

agropecuária familiar (794 ha), que juntas ocupam uma superfície de 1.500 ha distribuídos entre os municípios de Areia/PB e Remígio/PB.

A maior parte da microbacia incluindo a reserva ecológica está localizada no município de Areia/PB, que possui clima tropical chuvoso (pluviosidade anual de 1.200 mm) com déficit hídrico de setembro a janeiro, e um relevo ondulado a fortemente ondulado, com Argissolos como solos predominantes. No município de Remígio/PB, com características edafoclimáticas de transição, com solos arenosos, relevo suave ondulado e marcante declínio na pluviosidade anual (820 mm), com déficit hídrico de setembro a fevereiro. Uma parte da microbacia está antropizada, explorada pela agricultura familiar, onde a principal atividade é a criação extensiva de animais (SANTOS et al., 2002) sem qualquer suporte técnico.

Os solos que predominam na microbacia correspondem a uma associação de Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico e Neossolo Litólico Eutrófico e, em menor proporção, o Neossolo Regolítico e o Latossolo Amarelo Distrófico (Brasil, 1972; Embrapa, 2006). Nas áreas com declividade mais acentuada o solo predominante é o Argissolo Vermelho Amarelo, que normalmente possui uma transição abrupta entre a camada superficial, com textura predominantemente arenosa, com a camada argilosa da subsuperfície (SANTOS et al., 2002).

#### **4.2. Classificação e divisão das encostas**

As distintas formas da encosta possuem o mesmo gênero e espécie de gramínea formadora do pasto, distintos graus de cobertura vegetal e a presença de pastejo por bovinos. As encostas foram divididas conforme suas características e idade de pastejo em encosta 1 e 2.

A encosta 1, com pastagem estabilizada, (localizada a 6°57'55,9" de latitude S e 35°46'14,4" de longitude O), inserida numa área de 13 ha, foi constituída de pastagem de *Urochloa decumbens* estabelecida há 20 anos, após escarificação para descompactação do solo, seguida de uma aração para planeamento, não havendo semeadura de novas sementes, o estabelecimento da pastagem foi oriundo da germinação das sementes presentes no pasto incorporado ao solo.

A encosta 2, com pastagem recuperada, (localizada a 6°58'02,4" de latitude S e 35°46'11,7" de longitude O) apresenta forma convexa e está localizada em uma área de 8 ha. Que esteve sob pastagem por 20 anos, inicialmente pastagem de *Urochloa decumbens*,

mas, devido à predominância da espécie invasora capim Lucas (*Sporobolus indicus*. L.), foi efetuada três gradagens na área, para morte da vegetação e planeamento do solo, com posterior calagem a lanço em área total, para elevação da saturação por bases a 70%, e a sementeira mecânica das sementes de *Urochloa decumbens*, cultivar Basilisk. Atualmente essa pastagem está no seu primeiro ano de uso, após o replantio.

As variadas formas das topossequência resultam em diferentes declividades ao longo da paisagem do relevo, portanto Santos et al. (2002) dividiu as topossequência nas seguintes posições: topo, ombro, meia encosta, pedimento e várzea, sendo a encosta composta pelas posições do ombro, meia encosta e pedimento (Figura 1). No presente estudo, as encostas onde ocorreram as avaliações apresentam a posição do ombro, meia encosta e pedimento.

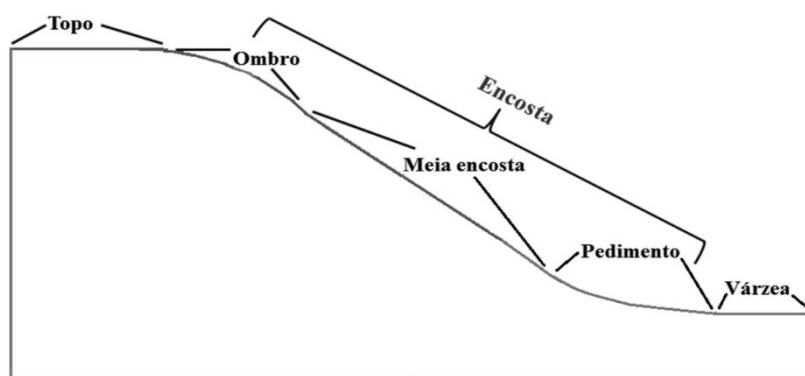


Figura 1. Posições do relevo na topossequência (Santos et al., 2002).

#### 4.3. Caracterização física do solo

Foram coletadas amostras de solo, até uma profundidade de 10 cm, com três repetições em cada posição das encostas (Encostas com 20 anos (E1) e 1 ano (E2) de implantação), para a caracterização física do solo (Tabela 1). As amostras coletadas foram destinadas ao laboratório de Física do Solo do CCA-UFPB, onde foram secas ao ar e peneiradas em peneiras com malha de 2 mm, para em seguida serem analisadas pela metodologia da Embrapa (1997). A densidade do solo foi determinada em campo com cilindro volumétrico.

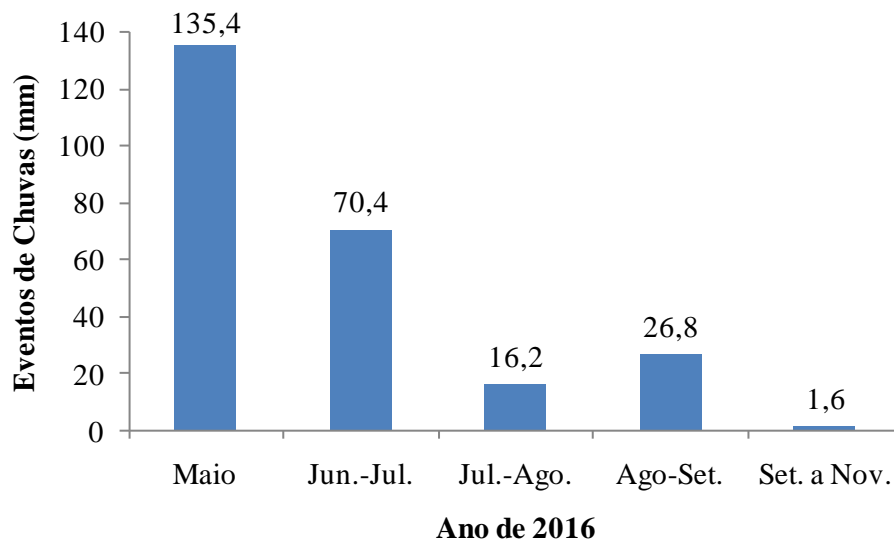
**Tabela 1.** Atributos físicos do solo, na camada de 0-0,10 m de profundidade, nas posições do ombro, meia encosta e pedimento em duas encostas com pastagens com diferentes idades de estabelecimento.

Posição	AT	Silte	Argila	ADA	Ds	Dp	PT	Classificação Textural
	g kg <sup>-1</sup>			g cm <sup>-3</sup>		%		
<b>Encosta sob pastagem com 20 anos</b>								
Ombro	698	72	230	25,1	1,61	2,56	37	Franco argilo arenoso
M. encosta	696	58	246	25,1	1,61	2,58	38	Franco argilo arenoso
Pedimento	763	63	174	12,5	1,59	2,57	38	Franco arenoso
<b>Encosta sob pastagem com 1 ano</b>								
Ombro	737	105	158	51	1,40	2,7	48	Franco arenoso
M. encosta	781	110	110	25	1,38	2,6	47	Franco arenoso
Pedimento	801	124	75	0,0	1,36	2,6	48	Areia Franca

AT = Areia total; ADA = Argila dispersa em água; Ds = Densidade do solo em campo (Método do anel); Dp= densidade de partícula; PT = Porosidade total  $(1-(Ds/Dp)) \times 100$ ; Caracterização determinada pelo método da Embrapa (1997).

#### 4.4. Medidas meteorológicas durante o experimento

A precipitação pluvial foi monitorada em uma estação meteorológica automatizada (modelo HOB0® U30/NRC da Onset, Massachusetts, EUA) instalada na área, que fez leituras a cada 10 segundos e armazenamento de dados médios a cada 30 minutos, durante o período de avaliação. A estação foi instalada em área aberta dentro da pastagem e protegida da ação dos animais por uma cerca feita de estacas de sabiá e tela de arame. Os dados de precipitação pluvial, ou eventos de chuvas, estão apresentados na figura 2, vale salientar que os dados da figura 2 representam dias de avaliação (datas de avaliação), independentemente de meses e sim de número de coletas e tais dados foram utilizados para a interação pastagens (ou encostas) vs posição vs precipitação. Nas figuras onde são comparadas as pastagens (ou encostas) em cada posição em relação a precipitação, os dados de chuvas foram compilados, acumulando-se os sete dias, ou sete eventos de chuvas, que antecederam a instalação e retirada do experimento de respiração.



**Figura 2.** Eventos de chuva em cinco datas de avaliação, correspondendo a sete meses de monitoramento, durante o ano de 2016.

\*Maio=Maio; jun.jul.=junho a julho; jul.ago.= julho a agosto; ago-set.= agosto a setembro; set.a Nov.= setembro, outubro e novembro.

#### 4.5. Efluxo de C-CO<sub>2</sub>

O efluxo de CO<sub>2</sub> do solo foi avaliado nas duas encostas em um estudo observacional com 132 tratamentos em um esquema fatorial 2x3x22 que correspondem à duas encostas, uma encosta sob pastagem de 20 anos e uma encosta sob pastagem de 1 ano, três posições do relevo (ombro, meia encosta e pedimento) e vinte e duas avaliações do efluxo, com três repetições, totalizando 396 amostras. As avaliações em função da chuva precipitada foi avaliada em um esquema fatorial 2x3x5 que correspondem a duas encostas (uma encosta sob pastagem de 20 anos e uma encosta sob pastagem de 1 ano), três posições do relevo (ombro, meia encosta e pedimento) e cinco eventos de chuva.

O efluxo de CO<sub>2</sub> foi avaliado semanalmente, até o final do período chuvoso (quando a atividade microbiana estabiliza). Esta atividade foi medida pela quantidade de CO<sub>2</sub> capturado na superfície do solo usando a metodologia de Jenkinson & Powlson (1976) adaptada por Ivo & Salcedo (2012). Este método consiste na captura do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) dentro de câmaras estáticas, por 40 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1 Mol L<sup>-1</sup> contidos dentro de um recipiente durante 24 horas. As câmaras estáticas foram feitas a partir de um recipiente circular (Bacia com diâmetro de 22,3 cm e altura de 8 cm) ocupando uma área de 0,0391 m<sup>2</sup>, com suas bordas voltadas ao solo, para



proteger o NaOH no recipiente, do CO<sub>2</sub> presente na atmosfera. Os recipientes contendo o NaOH tinham área de 0,0154 m<sup>2</sup> e foram envoltos pela câmara.

O efluxo de CO<sub>2</sub> no campo consistiu dos seguintes passos: 1) Corte da parte aérea das plantas no local, com auxílio de tesoura; 2) Colocar o recipiente com a solução sobre o solo; 4) Cobrir o recipiente com a câmara estática (Bacia); 5) Cobrir totalmente a câmara estática com uma sacola plástica contendo areia, para evitar o fluxo de CO<sub>2</sub> da câmara para atmosfera; No tratamento controle (branco) o recipiente ficou tampado e protegido durante as 24 h em um saco plástico fechado, no entanto, o recipiente ficou exposto ao ar atmosférico pelo mesmo período dos demais tratamentos durante a colocação (≈ 5 segundos) e retirada (≈ 5 segundos) do recipiente, para retirar a contaminação com CO<sub>2</sub> atmosférico que ocorre durante esses procedimentos.

Completadas as 24 h, os recipientes foram retirados, tampados, armazenados, identificados e transportados até o laboratório de matéria orgânica do solo, onde a solução de NaOH foi transferida para recipientes fechados e armazenados na geladeira. O teor de C foi determinado por titulação Potenciométrica com ácido clorídrico (HCl) a 0,05 N (SAMPAIO & SALCEDO, 1982) e calculado usando a seguinte fórmula:

$$C-CO_2 \text{ (mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}) = (((VGT - VGB)*0,05)*12) * (VCR / VUT) * (AB / TH)$$

Onde:

VGT = Volume de HCl gasto na titulação da amostra; VGB = Volume de HCl gasto na titulação do branco; 0,05 = Normalidade do HCl utilizado na titulação; 12 = Massa molecular do carbono; VCR = Volume de NaOH contido no recipiente; VUT = Volume de NaOH titulado; AB = Área da câmara estática (Bacia); TH = Tempo em horas da captura do C-CO<sub>2</sub>.

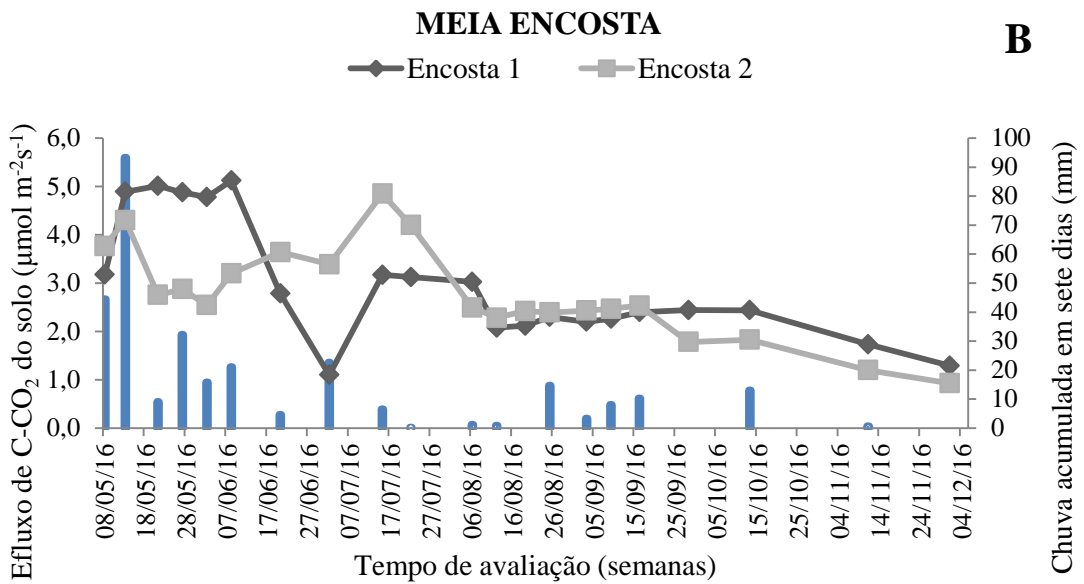
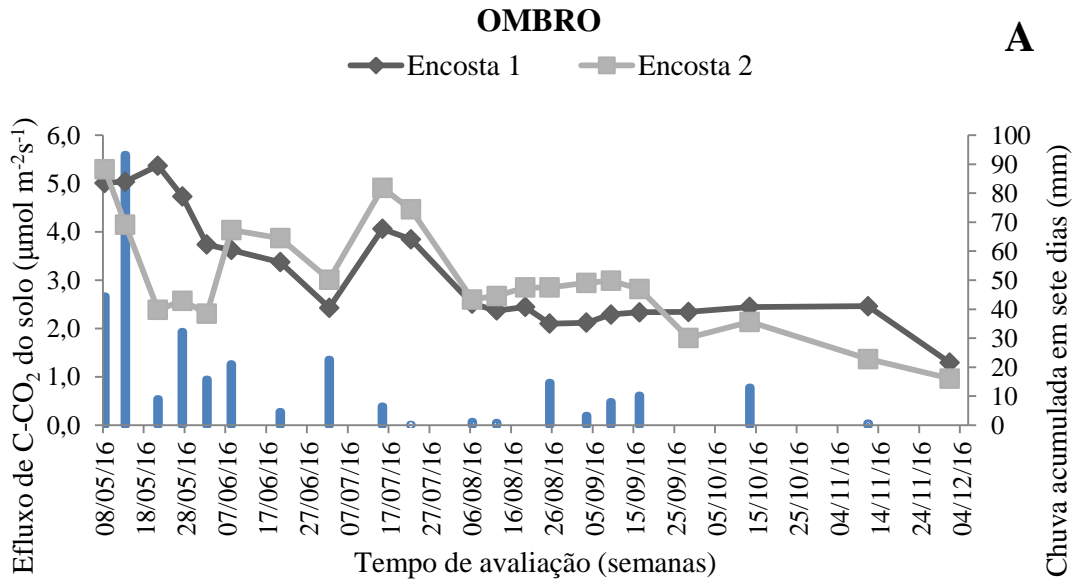
Após obtenção do efluxo em mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, foi feita uma relação matemática para transformação dos valores para μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

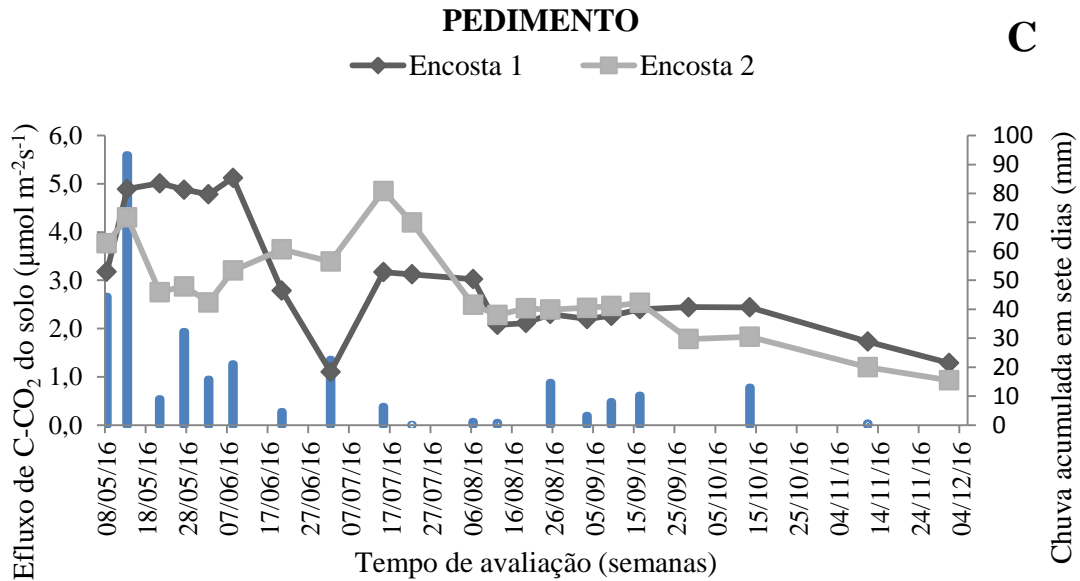
Os valores médios das três repetições foram submetidos à análise de variância e quando pertinente comparado às médias das posições pelo teste de Tukey (P≤0,05).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos teores de C-CO<sub>2</sub> na posição do ombro nas duas encostas uma com pastagem estabilizada (20 anos de estabelecida) (Encosta 1) e uma com pastagem recuperada (1 ano de estabelecida) (Encosta 2), encontram-se na Figura 2. Verificou-se que o efluxo de C-CO<sub>2</sub> acompanhou a tendência de aumento ou diminuição da precipitação pluvial, ou seja, à medida que aumentou a precipitação ocorreu aumento na atividade microbiana e crescimento radicular, e conseqüentemente maior efluxo de C-CO<sub>2</sub>, esta dinâmica ocorre devido ao favorecimento da melhor atividade microbiana em decorrência da maior umidade do solo proporcionada pela precipitação local (SEVERINO et al., 2004). De acordo com Chavez (2008) a umidade do solo pode tanto beneficiar como impedir a produção de CO<sub>2</sub>, existindo uma umidade ótima que maximiza a respiração. Segundo Lal (2009) o conteúdo de água presente no solo pode estimular a atividade microbiana e a difusão de gases, presentes no solo, para a atmosfera. Observa-se também que o maior teor de argila (Tabela 1) no ombro da encosta 1, em relação ao ombro da encosta 2, não incidiu em diferença na tendência de emissão, provavelmente, porque as duas condições possuem teor de areia semelhante.

Os maiores valores foram verificados nas primeiras coletas, mês de maio, junho e julho de 2016, justamente nos meses mais chuvosos do referido ano, enquanto que nos meses mais secos verificou-se os menores valores das emissões de C-CO<sub>2</sub>. Estes resultados se assemelham aos encontrados por Pinto-Junior et al. (2009), em seu trabalho, os autores encontraram em área de pastagem valores de efluxo de CO<sub>2</sub> mínimo de 1,44  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  na estação seca, e máximo de 8,27  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  na transição chuvosa-seca, indicando assim que no período mais seco do ano o solo encontra-se com uma baixa umidade e conseqüentemente há uma menor atividade da biota do solo, o que reflete diretamente nos menores valores de emissão de CO<sub>2</sub> do solo.





**Figura 2.** Efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo em duas encostas sob pastagem, uma com 20 anos de uso (Encosta 1) e uma com 1 ano de uso (Encosta 2) nas posições do ombro (A), meia encosta (B) e pedimento (C) em meses do ano de 2016.

Nas figuras 2-B e 2-C, os valores médios dos teores de C-CO<sub>2</sub> emitido do solo em duas posições da encosta (meia encosta e pedimento), observa-se que houve uma tendência de aumento das emissões de C-CO<sub>2</sub> do solo, com as maiores precipitações, comportamento semelhante em ambas às pastagens, independentemente da idade de estabelecimento, isso ocorre devido a íntima relação que há entre umidade do solo e atividade microbiana, e em períodos em que o conteúdo de água no solo é pequeno, ocorre redução da atividade microbiana e consequentemente redução das emissões de C-CO<sub>2</sub>. Soma-se a isto o fato de no período chuvoso haver maior taxa de crescimento da pastagem, com maior respiração radicular, enquanto que no período seco, cessa-se o crescimento da pastagem e a respiração radicular. Como afirma Dias (2006) a quantidade de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo tem certa afinidade à umidade do solo, ou seja, em épocas que a umidade do solo encontra-se baixa, o efluxo do solo também é baixo e à medida que a umidade do solo aumenta ocorre também um aumento no efluxo de CO<sub>2</sub>, até o momento em que não haja condições desfavoráveis a difusão, devido ao excesso de água nos espaços porosos do solo.

Nunes (2003) observou em seu trabalho, um aumento das emissões de CO<sub>2</sub> com a ocorrência das chuvas em área de pastagem, este mesmo autor, atribuiu ao fator chuva o aumento da atividade microbiana do solo, explicando a dinâmica verificada neste trabalho. Dias (2015) também encontrou resultados semelhantes aos resultados encontrados nesse

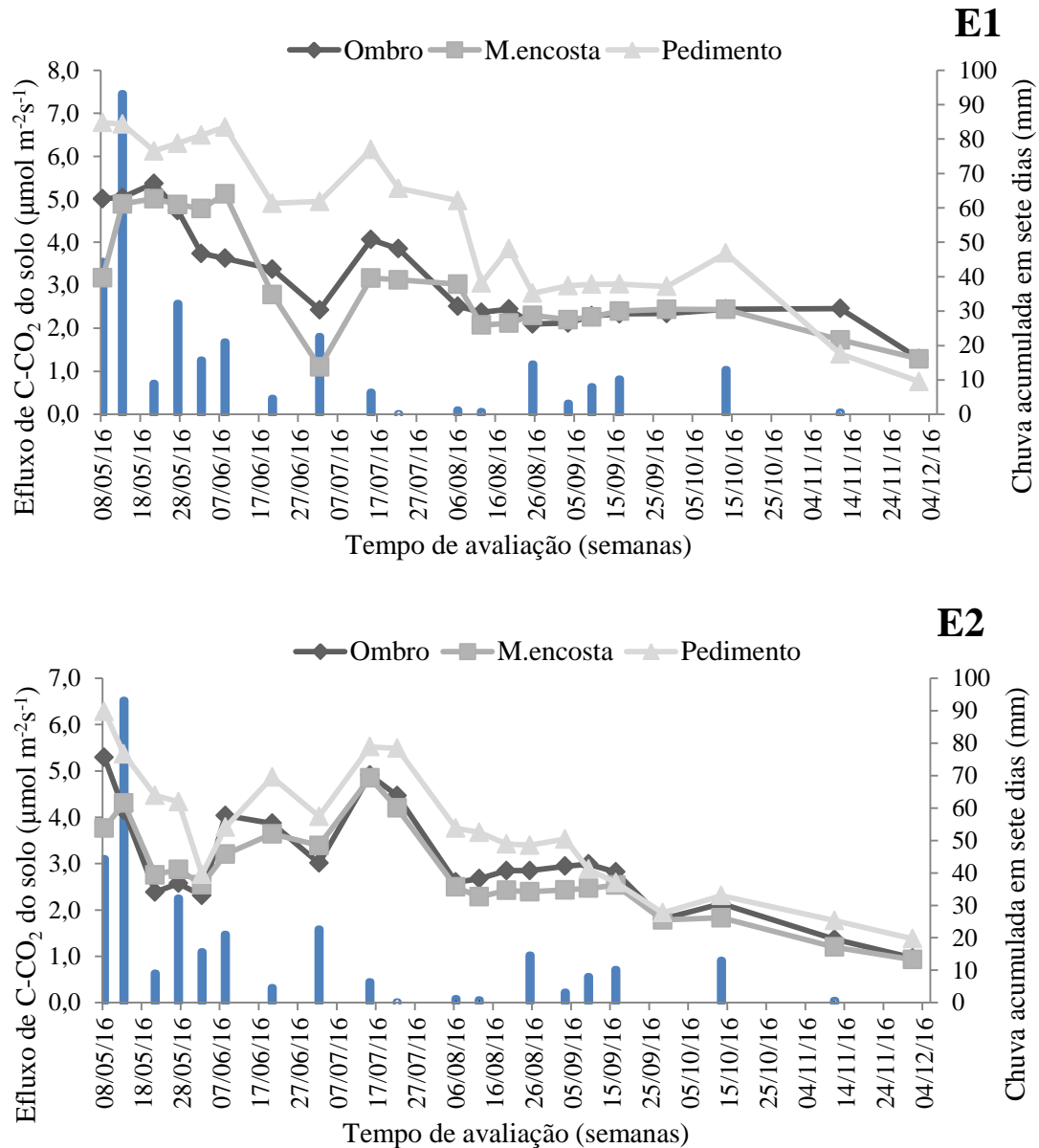
trabalho, onde nos meses em que a umidade do solo encontrava-se baixa consequentemente havia uma redução nos valores do efluxo de CO<sub>2</sub>. BUNNELL, et al. (1997) afirmaram que quanto maior a umidade do solo, maior será a emissão de CO<sub>2</sub>, mas quando há um excesso de água no solo ocorre problemas nas trocas de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> do solo com a atmosfera, causando assim uma queda nas emissões de CO<sub>2</sub> do solo.

Vale salientar que na figura 2-A, 2-B e 2-C, os valores de emissão são variáveis entre a pastagem estabelecida e recuperada, ao longo do tempo, e que ambas possuem a mesma tendência de emissão em função dos eventos de chuva. Isto pode ser explicado em função das características físicas dessas posições (Tabela 1), que estão influenciando na difusão do C-CO<sub>2</sub> do solo. As diferenças em teor de argila, teor de areia, densidade do solo e a porosidade, entre as encostas das duas pastagens estão condicionando o comportamento de emissão, onde é possível observar que a encosta com pastagem estabelecida possui um solo com maior teor de argila devido aos efeitos prolongados da erosão hídrica, que erodiu parte da camada superficial do solo, mais arenosa, ficando a textura mais argilosa devido ao gradiente textural do Argissolo; e uma maior compactação, devido ao pisoteio animal, em vários anos de criação extensiva, nas três posições do relevo. Já na pastagem recuperada há maior teor de areia, menor densidade do solo e maior porosidade, tais efeitos estão relacionados com o revolvimento do solo durante o preparo para plantio.

Na figura 3 E1 (pastagem estabelecida) e E2 (pastagem renovada) uma com 20 anos de uso e outra com 1 ano de uso, respectivamente, observa-se os valores médios do efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo nas três posições (Ombro, Meia encosta e Pedimento). Verificou-se que em ambas as encostas houve uma tendência de aumento do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em função do aumento das precipitações pluviométricas, ou seja, à medida que houve eventos de chuvas ocorreu simultaneamente aumento no efluxo de CO<sub>2</sub>. Este aumento ocorre devido à chuva proporcionar condições favoráveis de umidade no solo, estimulando assim a atividade heterotrófica (microbiana) e atividade autotrófica (radicular), com isso há um forte aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> do solo. Nos mais variados ecossistemas a umidade e a temperatura do solo são os principais fatores abióticos que influenciam sobre o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo (BUTLER, 2012).

Dentro deste contexto pode-se dizer que à medida que há um aumento no teor de água no solo, há um aumento no crescimento vegetal e consequentemente há um aumento no crescimento em seu sistema radicular, fazendo com que ocorra uma maior atividade radicular e consequentemente um maior efluxo de CO<sub>2</sub>, demonstrando assim que a

respiração do solo esta intensamente vinculada ao regime de precipitação e consequentemente a disponibilidade de água no solo (BUTLER, 2012).



**Figura 3.** Efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo em três posições: ombro, meia encosta e pedimento de duas encostas sob pastagem, uma com 20 anos de uso (E1) e uma com 1 ano de uso (E2) em meses do ano de 2016.

Na figura 3-E1, observa-se que entre as posições da encosta as maiores emissões de CO<sub>2</sub> foram encontradas na posição do pedimento, seguido das posições do ombro e meia encosta. De acordo com a tabela 1 a posição do pedimento apresenta classe textural franco arenoso, enquanto que as posições do ombro e meia encosta apresentam classe textural

franco argilo arenosa. Sendo assim, essas posições apresentam sua composição granulométrica diferente, o que explica as diferenças de emissões entre as posições.

A posição do pedimento apresenta uma maior quantidade de areia total e conseqüentemente uma maior porosidade total, e um menor teor de argila em relação às posições do ombro e meia encosta, condições estas que possibilitam uma maior condição de disponibilidade de água para as plantas e microorganismos do solo, que favorece o processo de difusividade do gás CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera. Já as posições do ombro e meia encosta, apesar de apresentar uma quantidade de areia total e porosidade total semelhante, a posição do ombro se sobressai em relação à posição da meia encosta em termos de maiores emissões de CO<sub>2</sub>, devido a posição do ombro apresentar um menor teor de argila em relação a posição da meia encosta, ou seja, a argila faz com que ocorra uma maior retenção de água no solo, e quando há uma maior retenção de água no solo, há uma menor quantidade de água disponível para a plantas e microorganismos do solo, fazendo com que haja uma redução no crescimento vegetal e atividade microbiana do solo, e conseqüentemente, há diminuição nas emissões de CO<sub>2</sub> do solo. De acordo com (MOREIRA & SIQUEIRA 2006) o preenchimento dos poros do solo com água dificulta a saída do gás, ou seja, há uma forte tendência do gás ficar preso e conseqüentemente há uma menor decomposição da matéria orgânica, o que faz com que ocorra uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub> do solo.

Na figura 3-E2, observa-se que a posição do pedimento foi a que obteve os maiores valores das emissões de CO<sub>2</sub> do solo, enquanto que as posições do ombro e meia encosta encontram-se praticamente dentro dos mesmos valores de emissões de CO<sub>2</sub> do solo. Levando em consideração a tabela 1, a posição do pedimento se enquadra dentro da classe textural areia franca, enquanto que as posições do ombro e meia encosta se enquadram dentro da classe textural franco arenoso. Essas diferenças da granulometria, ou seja, classe textural entre as posições da encosta faz com que ocorram alterações nas emissões de CO<sub>2</sub>. Em seu estudo com emissões de CO<sub>2</sub> do solo em diferentes posições topográficas, (BRITO, 2008) observou que a posição que apresentou maior macroporosidade e menor densidade, foi a que apresentou as maiores emissões de CO<sub>2</sub> do solo.

De acordo com a granulometria do solo de cada posição da encosta E2 apresentada na tabela 1, observa-se que a posição do pedimento apresenta um maior teor de areia total e conseqüentemente uma porosidade total elevada, e um menor teor de argila em sua granulometria, em comparação com as posições do ombro e meia encosta, demonstrando assim um dos motivos da posição do pedimento se destacar no efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo.

De acordo com os resultados encontrados por (XU & QI, 2001) o espaço poroso do solo é de fundamental importância no processo de transporte de gases do solo para atmosfera, e principalmente para a atividade microbiana. FANG et al (1998) analisaram que uma maior porosidade total facilita a entrada de oxigênio no solo, favorecendo a respiração e, conseqüentemente, aumentando a emissão de CO<sub>2</sub>. De acordo com (BRITO, 2008) a distribuição de macro e micro poros, afeta tanto a entrada de O<sub>2</sub> no solo como a saída de CO<sub>2</sub> do solo, definindo assim as possíveis trajetórias de gases no solo.

Apesar da posição do ombro apresentar uma porosidade total semelhante à posição do pedimento, ambas as posições apresentam um teor de areia total e argila diferentes, ou seja, a posição do pedimento apresenta um menor teor de argila e um maior teor de areia em sua granulometria em comparação com a posição do ombro, o que faz com que ocorra uma maior disponibilidade de água na posição do pedimento proporcionando assim maiores taxas de emissões de CO<sub>2</sub>. Em seu trabalho (BRITO, 2008) verificou que dependendo da posição topográfica há diferenças na emissão de CO<sub>2</sub>.

Alguns estudos mostram que as maiores emissões ocorrem nas posições mais baixas de uma encosta quando comparadas as demais posições (topo, meia encosta), ou seja, esse princípio está ligado aos processos erosivos, onde na baixada observa-se um aumento na biomassa do solo em superfície (RISCH & FRANK, 2006), e aumento de produtividade (DEJONG, 1981).

A tabela 2 apresenta os valores de efluxo em ambas as pastagens em função da precipitação. Onde houve interação significativa para as comparações Posição x precipitação e encostas x precipitação, porém a interação posição x encostas x precipitação não foi significativa. Diante disso, obteve-se os maiores ( $p \leq 0,05$ ) valores de respiração por ocasião da maior precipitação, em ambas as encostas, com pastagens de diferentes idades, e em todas as posições. As emissões no ombro, meia encosta e pedimento na encosta sob pastagem com 20 anos, diminuiu ( $p \leq 0,05$ ) linearmente com a diminuição da precipitação. Porém isso não ocorreu na encosta sob pastagem com 1 ano, pois as emissões se mantiveram elevadas e estatisticamente iguais ( $p \leq 0,05$ ), nas precipitações de 135 mm, 70 mm, 27 mm e 16 mm para o ombro, de 135 mm, 70 mm e 16 mm para a meia encosta e de 135 mm, e 16 mm para o pedimento, Os menores ( $p \leq 0,05$ ) valores de efluxo de C-CO<sub>2</sub> independentemente da posição da encosta e da idade da pastagem foram observados na menor precipitação (1.6 mm). Em seu estudo Dias (2015) encontrou os maiores valores 2,2g de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> de efluxo no período chuvoso, esse mesmo autor relata ainda que apesar de está no período chuvoso o solo não estava alagado e sim úmido, pois como



Moreira & Siqueira (2006) relataram, em solos alagados a tendência do gás é ficar preso, devido o aumento no conteúdo de água no solo fazendo com que ocorra o preenchimento total dos poros do solo sem que haja condições propicias para a saída do gás.

**Tabela 2.** Efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo nas posições do ombro, meia encosta e pedimento em duas encostas sob pastagem, uma com 20 anos de uso e uma com 1 ano de uso em função da precipitação pluvial.

Posição	Avaliação em função da precipitação pluvial (mm)				
	135	70	27	16	1.6
Efluxo de C-CO <sub>2</sub> do solo $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$					
<b>Encosta sob pastagem com 20 anos</b>					
Ombro	5,04 bA $\alpha$	3,29 bB $\alpha$	2,24 bC $\alpha$	3,20 bBC $\alpha$	2,40 aBC $\alpha$
M. encosta	4,49 bA $\alpha$	3,45 bB $\alpha$	2,22 bC $\alpha$	2,85 bBC $\alpha$	2,25 aC $\alpha$
Pedimento	6,49 aA $\alpha$	5,76 aAB $\alpha$	3,17 aC $\alpha$	4,86 aB $\alpha$	2,79 aC $\alpha$
<b>Encosta sob pastagem com 1 ano</b>					
Ombro	3,60 bA $\beta$	3,31 aA $\alpha$	2,91 aAB $\alpha$	3,66 bA $\alpha$	2,03 aB $\alpha$
M. encosta	3,43 bA $\beta$	3,19 aAB $\alpha$	2,43 aBC $\alpha$	3,46 bA $\alpha$	1,84 aC $\alpha$
Pedimento	5,11 aA $\beta$	3,86 aBC $\beta$	3,31 aC $\alpha$	4,61 aAB $\alpha$	2,15 aD $\alpha$

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas, não diferem ( $p \leq 0,05$ ) entre posições da mesma pastagem e na mesma precipitação; médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem ( $p \leq 0,05$ ) entre as precipitações pluviais, na mesma posição; médias seguidas da mesma letra grega ( $\alpha > \beta$ ) nas colunas, não diferem ( $p \leq 0,05$ ) entre pastagens, na mesma posição, em todos os casos pelo teste de Tukey.

\*135 mm= Maio; 70 mm= junho a julho; 16 mm= julho a agosto; 27 mm= agosto a setembro; 1.6 mm= setembro, outubro e novembro.

O efluxo mais estável entre as posições na encosta de pastagem de 20 anos em função do período chuvoso está ligado à estabilização do carbono, enquanto que na pastagem de 1 ano essa variação mais pronunciada entre as emissões em função das chuvas, estão relacionadas ao início do reequilíbrio do sistema, após a renovação do pasto.

Na encosta sob pastagem de 20 anos (Tabela 2), as maiores ( $p \leq 0,05$ ) emissões foram obtidas na posição do pedimento em todas as precipitações, com exceção da precipitação de 1.6 mm. Esse comportamento está ligado a maior porosidade no pedimento em relação às demais posições e maior teor de água disponível (REBEQUI, 2015), o que favorece a maior atividade biológica e emissão de gases. Não houve diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre o efluxo de C-CO<sub>2</sub> nas posições do ombro e meia encosta, em todas as precipitações. Como pode ser verificado na tabela 1, estas duas posições possuem a mesma classe textural, mesma densidade do solo, mesmo teor de argila e a mesma

porosidade, o que, provavelmente, está condicionando essa mesma taxa de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo.

Dentre as características físicas do solo, a textura é uma das principais e mais importante no que se refere à troca de gases entre a atmosfera e o solo, pois a mesma tem uma forte interferência no que diz respeito à quantidade de água no solo, podendo assim facilitar ou dificultar a entrada ou saída desses gases. Segundo Edwards (1975) a movimentação de CO<sub>2</sub> nos poros do solo é prejudicada pelo excesso de água. Em solos que apresentam textura arenosa, há uma maior quantidade de macroporos e conseqüentemente maior aeração, e como no solo tem-se uma maior quantidade de CO<sub>2</sub> em relação ao O<sub>2</sub>, esses solos apresentam uma maior facilidade na difusão do gás (CO<sub>2</sub>). De acordo com Luchese et al. (2001) a maior ou menor quantidade de microporos e macroporos de um solo, depende de sua textura.

Na encosta sob pastagem renovada (Tabela 2), houve uma maior variação no comportamento do efluxo, entre as posições em função da precipitação. É possível observar que na precipitação de 135 mm e 16 mm de chuvas, o maior ( $p \leq 0,05$ ) efluxo de CO<sub>2</sub> foi no pedimento em relação ao ombro e meia encosta, no entanto, nas demais precipitações as emissões foram iguais ( $p \leq 0,05$ ) entre as três posições. Esse comportamento, nessa encosta, deve-se ao fato do agroecossistema ainda estar em processo de equilíbrio, o que faz com que os resultados, sejam mais variáveis ao longo do tempo e em função das variações meteorológicas, tais como a chuva.

A Comparação entre as encostas sob pastagem, em função da chuva e da posição (Tabela 2) mostra que na precipitação de 135 mm, em todas as posições, o maior ( $p \leq 0,05$ ) efluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo foi na encosta sob pastagem com 20 anos em relação à encosta com pastagem de 1 ano (Tabela 2); fato que só ocorreu nessa precipitação para todas as posições, e na precipitação de 70 mm para a posição do pedimento ( $5,76 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); Para as demais combinações “posição x encostas x precipitação” não houveram diferenças ( $p \leq 0,05$ ) significativas. Isto indica que a idade do pasto não interfere no efluxo de CO<sub>2</sub> e sim a quantidade de chuva precipitada, onde só em chuvas acima de 70 mm, é possível verificar diferenças significativas na emissão de carbono, entre encostas sob pastagens com idades distintas. Estes resultados indicam que nas condições do brejo paraibano, a prática de recuperação de pastagem degrada para cumprir a meta do plano ABC (MAPA, 2012) de mitigar a emissão de CO<sub>2</sub>, só é eficiente, significativamente, quando há grandes precipitações > 70 mm de chuva; no entanto, em todas as posições, as

emissões foram numericamente menores na pastagem renovada que na pastagem estabelecida.

## 6. CONCLUSÕES

1. Entre as posições das encostas, a que apresentou os maiores valores de emissão de C-CO<sub>2</sub> foi o pedimento, que possui textura arenosa, nas duas encostas sob pastagem; enquanto a posição do ombro e meia encosta apresentaram emissão de CO<sub>2</sub> estatisticamente iguais, independentemente, da quantidade de chuva ao longo do ano;

2. A idade da pastagem sobre a encosta não interferiu no efluxo de CO<sub>2</sub> e sim a quantidade de chuva precipitada, onde só em chuvas acima de 70 mm, foi possível verificar diferenças significativas na emissão de carbono, entre encostas sob pastagem com idades distintas.

3. As emissões de carbono do solo são diretamente proporcionais à precipitação pluvial, e da idade da pastagem.

## 7. REFERÊNCIAS

ACRECHE, M. M.; PORTOCARRERO, R.; CHALCO VERA, J.; DANERT, C.; VALEIRO, A. H. Greenhouse gas emissions from green-harvested sugarcane with and without post-harvest burning in Tucumán, Argentina. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 195–199, 2014.

BALL, B. C. Soil structure and greenhouse gas emissions: A synthesis of 20 years of experimentation. **European Journal of Soil Science**, West Sussex, v. 64, n. 3, p. 357–373, 2013.

BRAGA, F. V. A.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VOGELMANN, E. S.; PADRÓN, R. A. R. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em topossequência Argissolo-Gleissolo: Variação no perfil e efeito de compressão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 39, p. 1025-1035, 2015.

BRIENEN, R. J. W.; PHILLIPS, O. L.; FELDPAUSCH, T. R.; GLOOR, E.; BAKER, T. R.; LLOYD, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO-MENDOZA, A.; MALHI, Y.; LEWIS, S.L.; VÁSQUEZ, R.; MARTINEZ, R.; ALEXIADES, M.; ÁLVAREZ, D. E.; ALVAREZ-LOAYZA, P.; ANDRADE, A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ARAUJO-

MURAKAMI, A.; ARETS, E. J. M.; ARROYO, M. L.; AYMARD, G. A.; BÁNKI, O. S.; BARALOTO, C.; BARROSO, J.; BONAL, D. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, p. 344-348, 2015.

BRITO, L. F.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial variability of soil CO<sub>2</sub> emission in different topographic positions. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p.19–27, 2010.

BRITO, L. F.; MARQUES Jr.; J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N. Soil CO<sub>2</sub> emission of sugarcane field as affected by topography. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 77–83, 2009.

BRITO, L. f. **Emissão de CO<sub>2</sub> do solo em diferentes posições topográficas em área sob cultivo de cana-de-açúcar**. 2008. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

BUNNELL, F.L.; TAIT, D.E.N.; FLANAGRAN, P.W.; VAN CLEVE, K. Microbial respiration and substrate weight loss, I, A general model of the influences of abiotic variables. **Soil Biol. Biochem.**, v.9, p.33-40, 1977.

BUTLER, A.; MEIR, P.; SAIZ, G. Annual variation in soil respiration and its components parts in two structurally contrasting woody savannas. **Plant Soil**, v. 352, p.129-142, 2012.

CARBONELL-BOJOLLO, R. M.; REPULLO-RUIBÉRRIZ, M. A.; RODRÍGUEZLIZANA, A.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R. Influence of soil and climate conditions on CO<sub>2</sub> emissions from agricultural Soils. **Water Air Soil Pollution**, v.223, p. 3425–3435, 2012.

CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Agricultura e Aquecimento Global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 32 (1), p. 40-44, 2007.

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. B. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, p. 831-843, 2009.

CERRI, C.C. ; CARVALHO, J.L.N. ; Nascimento. A. M.; Miranda. S. H. G. . Agricultura de baixo carbono. O que a ciência do solo tem a ver com isso?. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 13-19. 2012.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 323–332, 2008.

D'ANDRÉA, A. F. et al., Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO<sub>2</sub> do solo em floresta nativa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 62, p. 85-92, mai./jul. 2010.

DAVIDSON, E. A.; VERCHOT, L. V.; CATTÂNIO, H.; ACKERMAN, I. L.; CARVALHO, E. M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern amazonia. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, p. 53–69, 2000.

DEJONG, E. Soil aeration as affected by slope position and vegetative cover. **Soil Science**, Baltimore, v. 131, n.1, p. 34–43, 1981.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. 2006. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agrossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

DIAS, M. F. **Dinâmica do efluxo de CO<sub>2</sub> no solo em duas áreas de composições fitofisionômicas distintas**. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá, 2015.

DILUSTRO, J. J.; COLLINS, B.; DUNCAN, L.; CRAWFORD, C. Moisture and soil texture effects on soil CO<sub>2</sub> efflux components in southeastern mixed pine forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 204, n. 1, p. 87-97, 2005.

EDWARDS, N.T. **Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor**. Soil Science Society America Proceedings, Knoxville, v.39, n.2, p.361-5, 1975.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EPRON, D.; BOSC, A.; BONAL, D.; FREYCON, V. Spatial variation of soil respiration across a topographic gradient in a tropical rain forest in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**, Nova York, v. 22, p. 565-574, 2006.

FANG, C.; MONCRIEFF J. B.; GHOLZ, H. L.; CLARK, K. L. Soil CO<sub>2</sub> efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 205, n.2, p. 135-146, 1998.

FÓTI, S.; BALOGH, J.; HERBST, M.; PAPP, M.; KONCZ, P.; BARTHA, S.; ZIMMERMANN, Z.; KOMOLY, C.; SZABÓ, G.; MARGÓCZI, K.; ACOSTA, M.; NAGY, Z. Meta-analysis of field scale spatial variability of grassland soil CO<sub>2</sub> efflux: Interaction of biotic and abiotic drivers. **Catena**, Amsterdam, v. 143, p. 78–89, 2016.

FRANK, A. B. Carbon dioxide fluxes over .**Environmental Pollution**, 116, (3), 397-403, 2002.

GRAF, A.; PROLINGHEUER, N.; SCHICKLING, A.; SCHMIDT, M.; SCHNEIDER, K.; SCHÜTTEMEYER, D.; HERBST, M.; HUISMAN, J. A.; WEIHERMÜLLER, L.; SCHARNAGL, B.; STEENPASS, C.; HARMS, R.; VEREECKEN, H. Temporal downscaling of soil CO<sub>2</sub> efflux measurements based on time-stable patterns. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 10, n. 1, p. 239–251, 2010.

HERBST, M., BORNEMANN, L., GRAF, A.; VEREECKEN, H.; AMELUNG, W. A geostatistical approach to the field-scale pattern of heterotrophic soil CO<sub>2</sub> emission using covariates. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 111, n. 1, p. 377–392, 2012.

HU, W.; SHAO, M.; HAN, F.; REICHARDT, K. Spatio-temporal variability behavior of land surface soil water content in shrub- and grass-land. **Geoderma**, Amsterdam, v. 162, n. 3–4, p. 260–272, 2011.

IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. D. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Preparo do solo e emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 497–504, 2015.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: Mitigation**. Contribution of Working Group III. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, 2014.

IVO, W.M.P.M.; SALCEDO, I.H. Soil CO<sub>2</sub> flux: a method comparison of closed static chambers in a sugarcane field. **R. Bras. Ci. Solo**, 36: 2, 421-426, 2012.

KAINIEMI, V. **Tillage effects on soil respiration in Swedish Arable soils**. 2014. 68 f. Doctoral Thesis (Doctorate in Soil and Environment) – Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Uppsala, 2014.

KANG, S.; KIM, S.; OH, S.; LEE, D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 136, n. 3, p. 173-184, 2000.

KARHU, K.; AUFFRET, M. D.; DUNGAIT, J. A. J.; HOPKINS, D. W.; PROSSER, J. I.; SINGH, B. K.; SUBKE, J.; WOOKEY, P. A.; ÅGREN, G. I.; SEBASTIA, M.; GOURIVEAU, F.; BERGKVIST, G.; MEIR, P.; NOTTINGHAM, A. T.; SALINAS, N.; HARTLEY, I. P. Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. **Nature**, London, v. 513, p. 81–84, 2014.

KAY, B. D.; VANDENBYGAART, A. J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, p. 107-118, 2002.

KENNEDY, A. C.; SMITH, K. L. Soil microbial diversity and sustainability of agricultural soils. **Plant and Soil**, v. 170, p. 75-86, 1995.

KONCZ, P.; BALOGH, J.; PAPP, M.; HIDY, D.; PINTÉR, K.; FÓTI, S.; KLUMPP, K.; NAGY, Z. Higher soil respiration under mowing than under grazing explained by biomass differences. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 103, n. 2, p. 201–215, 2015.

KONDA, R.; OHTA, S.; ISHIZUKA, S.; HERIYANTO, J.; WICAKSONO, A. Seasonal changes in the spatial structures of N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> fluxes from *Acacia mangium* plantation soils in Indonesia. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 9, p. 1512–1522, 2010.

KRIŠTOF, K.; ŠIMA, T.; NOZDROVICKÝ, L.; FINDURA, P. The effect of soil tillage intensity on carbon dioxide emissions released from soil into the atmosphere. **Agronomy Research**, v. 12, p. 115–120, 2014.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO<sub>2</sub> efflux from soil and review of partitioning methods. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 3, p. 425–448, 2006.

LA SCALA JR, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 244–248, 2006.

LA SCALA, N.; MENDONÇA, E. S.; SOUZA, J. V.; PANOSSO, A. R.; SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R. Spatial and temporal variability in soil CO<sub>2</sub>-C emissions and relation to soil temperature at King George Island, maritime Antarctica. **Polar Science**, Amsterdam, v. 4, n. 3, p. 479–487, 2010.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences**, London, v. 363, n. 2, p. 815-830, 2008.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, Malden, v.60, n.2, p.158–169, 2009.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, 123, 1–22, 2004.

LAL, R. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. **Advances in Agronomy**, v. 71, p. 145-191, 2001.

LAUBER, C. L.; RANIREZ, K.; AANDERUD, Z.; LENNON, J.; FIERER, N. Temporal variability in soil microbial communities across land-use types. **The ISME Journal**, London, v. 7, n. 8, p. 1641–1650, 2013.

LEITE, M. Brasil busca uma nova cara. In: O peso da agropecuária no clima. **Revista Unespciência**, v. 1, n. 4, 2010.

LI, X.; INUBUSHI, K.; SAKAMOTO, K. Nitrous oxide concentrations in Andisol profile and emissions to the atmosphere as influenced by the application of nitrogen fertilizers and manure. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 108–113, 2002.

LUCHIESSE, E. B.; FAVERO, L. O.B.; LENZE, E. **Fundamentos da Química do Solo**, 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Freitas Basto Editora, 2001. 182 p.

MAPA, Ministério da agricultura pecuária e abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**. Brasília, 2012. Disponível em: [www.agricultura.gov.br/abc](http://www.agricultura.gov.br/abc). Acesso em: 05/12/2017.



MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; ABER, J. D.; NEWKIRK, K.; LUX, H.; BOWLES, F. P.; CATRICALA, C.; MAGILL, A.; AHRENS, T.; MORRISSEAU, S. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. **Science**, v. 298, p. 2173-2176, 2002.

MELLO, F. F.; CERRI, C. E.; DAVIES, C. A.; HOLBROOK, N. M.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S. M.; CERRI, C. C. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. **Nature Climate Change**, London, v. 4, n. 7, p. 605–609, 2014.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1720–1728, 2013.

MOITINHO, Mara Regina. **Variabilidade da emissão de CO<sub>2</sub> do solo sob diferentes manejos em áreas de cana-de-açúcar**. 2017. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.

MOREIRA, F. M. S; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**, 2006.

NOVARA, A.; ARMSTRONG, A.; GRISTINA, L.; SEMPLE, K. T.; QUINTON, J. N. Effects of soil compaction, rain exposure and their interaction on soil carbon dioxide emission. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, p. 994-999, 2012.

NUNES, P.C. Influência do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo na produção de forragem numa pastagem extensiva e num sistema agrosilvopastoril. MT. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Agricultura Tropical;) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 68pp, 2003.

ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; CARBONELL BOJOLLO, R.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, P.; PEREA TORRES, F. Influência de laclimatología y el manejo del suelo em las emisiones de CO<sub>2</sub> em um suelo arcilloso de lavega de Carmona. **Carex**, v. 6, p. 2339-2354, 2008.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Soil CO<sub>2</sub> emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, p. 190–196, 2011.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub>, da temperatura e umidade de um Latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, p.1017-1034, 2009.

PINTO-JUNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A.C.; NOGUEIRA, J. S. Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **R. Acta Amazonica**.v.39, n. 4, p. 813 – 822, 2009.

POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. **Agric., Ecos. Envir.**, 200: 33-41, 2015.

RISCH, A. C.; FRANK, D. A. Carbon dioxide fluxes in a spatially and temporally heterogeneous temperate grassland. **Oecologia**, Berlin, v. 147, n. 2, p. 291-302, 2006.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Decomposição de palha marcada e incorporação de 14-C a biomassa microbiana de um Latossolo vermelho-amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, 6: 29-32, 1982.

SANTOS A.C.; SALCEDO, I.H.; CANDEIAS, A.L.B.; GALVÃO, S.R.S. Influência do uso e da posição do perfil no relevo na fertilidade de solos em áreas de encosta. **Pes. Agrop. Trop.**, 39: 1, 31-37, 2009.

SANTOS, A.C.; SALCEDO, I. H. Relevo e fertilidade do solo em diferentes estratos da cobertura vegetal na bacia hidrográfica da represa Vaca Brava, Areia, PB. **R. Árvore**, 34: 2, 277-285, 2010.

SANTOS, A.C.; SALCEDO, I.H.; CANDEIAS, A.L.B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **R. Bras. Cart.**, 54: 1, 86-94, 2002.

SAVVA, Y.; SZLAVECZ, K.; CARLSON, D.; GUPCHUP, J.; SZALAY, A.; TERZIS, A. Spatial patterns of soil moisture under forest and grass land cover in a suburban area, in Maryland, USA. **Geoderma**, Amsterdam, v. 192, p. 202–210, 2013.

SCHARLEMANN, J. P.; TANNER, E. V.; HIEDERER, R.; KAPOS, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v. 5, p. 81–91, 2014.

SCHWARTZ, R. C.; BAUMHARDT, R. L.; EVETT, S. R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 221–229, 2010.

SCHWENDENMANN, L.; VELDKAMP, E.; BRENES, T.; O'BRIEN, J. J.; MACKENSEN, J. Spatial and temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in an old-growth neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 64, n. 1, p. 111–128, 2003.

SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. de M.; LUCENA, A. M. A. de; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, 2004.

SILVA, E. F.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Emissão de CO<sub>2</sub> do solo associada à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 885–898, 2014.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA JR, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, v. 8, p. 1–8, 2013.

SMART, D. R.; PEÑUELAS, J. Short-term CO<sub>2</sub> emissions from planted soil subject to elevated CO<sub>2</sub> and simulated precipitation. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam v. 28, n. 3, p. 247–57, 2005.

SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science** v. 54, p. 779–791, 2003.

SOTTA, E. D.; VELDKAMP, E.; GUIMARÃES, B. R.; PAIXÃO, R. K.; RUIVO, M. L. P.; ALMEIDA, S. S. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuana, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 237, n. 1–3, p. 57–64, 2006.

SOUZA, Luma Castro de. **Emissão de CO<sub>2</sub> do solo associada à escarificação em latossolo e em argissolo**. 2017. 89 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Jaboticabal, 2017.

TEIXEIRA, D. D. B.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Soil CO<sub>2</sub> emission estimated by different interpolation techniques. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 345, n. 1, p. 187-194, 2011.

TEIXEIRA, L. G.; LA SCALA JR, N.; LOPES, A. Fluxo de CO<sub>2</sub> do solo após aração e escarificação em diferentes configurações. **Holos Environment**, v.10 n.1, p. 1-11, 2010.

TSAI, S. M.; BARAIBAR, A. V. L.; ROMANI, V. L. M. Efeitos de fatores físicos e químicos sobre os microrganismos do solo umidade e aeração. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992, p. 60-89.

USSIRI, A. N.; LAL, R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an Alfisol in Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, p. 39-47, 2009.

VALLE C. B.; EUCLIDES V. P. B.; MACEDO, M. C. M. **Selecting new Brachiaria for Brazilian pastures**. In: International Grassland and Congress, 19, 2001, São Pedro. Proceedings... Piracicaba: FEALQ, 2001.

VARELLA, R. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S.; KISSELLE, K. W.; SANTOS, R. V.; BURKE, R. A.; ZEPP, R. G.; VIANA, L. T. Soil fluxes of CO<sub>2</sub>, CO, NO and N<sub>2</sub>O an old pasture and from native savanna in Brazil. **Ecological Applications**, Hoboken, v. 14, n. sp4, p. 221-231, 2004.

VARGAS, V. P.; CANTARELLA, H.; MARTINS, A. A.; SOARES, J. R.; CARMO, J. B.; ANDRADE, C. A. Sugarcane crop residue increases N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions under high soil moisture conditions. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 174-179, 2014.

VINCENT, G.L. et al.. Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table. **Soil Biology and Biochemistry**, 38, 2527-2535, 2006.

XU, M.; QI, Y. Soil-surface CO<sub>2</sub> efflux and its spatial and temporal variations in a Young ponderosa pine plantation in northern California. **Global Change Biology**, Oxford, v. 7, n. 6, p. 667-677, 2001.