ARTIGO ORIGINAL

Atributos microbiológicos do solo sob áreas eucalipto e florestas estacionais

Microbiological attributes of the soil under eucalyptus areas and seasonal forests

Ane Gabriele Vaz Souza¹ , Gabriela Gomes da Silva² , Gabriela Aparecida Beserra² ,
Lavínia Alves de Souza² , Valdivino Domingos de Oliveira Júnior³ ,
Cleber Tavares da Rocha Filho² , Milleny Nogueira Serafim² , Lilian Cristina da Silva Santos² ,
Talles Eduardo Borges dos Santos² , Vagner Santiago do Vale²

¹Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil

²Universidade Estadual de Goiás – UEG, Ipameri, GO, Brasil

³Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, Brasil

Como citar: Souza, A. G. V., Silva, G. G., Beserra, G. A., Souza, L. A., Oliveira Júnior, V. D., Rocha Filho, C. T., Serafim, M. N., Santos, L. C. S., Santos, T. E. B., & Vale, V. S. (2021). Atributos microbiológicos do solo sob áreas eucalipto e florestas estacionais. *Scientia Forestalis*, 49(132), e3673. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n132.03>

Resumo

Florestas são capazes de sequestrar e estocar grandes quantidades de carbono (C) na biomassa e, com o tempo, este carbono é ciclado e incorporado ao solo. Cultivo de espécies florestais como eucalipto, são benéficos para incorporar C, contudo, estes são sistemas pouco diversos, se comparados a florestas nativas do Cerrado. Partindo da premissa que a atividade microbiológica deve ser maior nas áreas nativas em razão da menor interferência antrópica, o objetivo do presente estudo foi verificar o efeito da implantação de florestas de eucalipto sobre bioindicadores de qualidade do solo quando comparada à florestas estacionais semidecíduais. O estudo foi conduzido em dois diferentes sistemas florestais: floresta estacional semidecidual (FES) do Cerrado e floresta de *Eucalyptus* spp. localizadas na região sudeste de Goiás. Para cada um dos sistemas florestais foram feitas análises de três fragmentos, totalizando seis fragmentos, sendo que em cada fragmento foram demarcados três transectos e estes subdivididos em dez subparcelas com dimensão 10 m x 10 m. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, onde considerou-se cada fragmento como um bloco. Em cada subparcela foram coletadas amostras de solo utilizadas para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana (RM), quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano ($qMIC$) e de carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MO). Os resultados demonstram que apenas qCO_2 não diferiu estatisticamente entre FES e eucalipto, tendo as demais variáveis apresentado maiores valores de atividade microbiana e incorporação de C em relação ao eucalipto. O mesmo é comprovado na análise de variância e pela PCA, onde os fragmentos FES se mostraram estatisticamente diferentes e superiores os três fragmentos florestas de eucalipto. Se compararmos fragmentos de FES, principalmente quanto ao sequestro de C, este apresenta maior atividade microbiológica e maior armazenamento de C. Onde os valores de CBM da área nativa apresentaram média de 568,84 mg C.kg⁻¹ de solo, mais que o dobro que a incorporação da área plantada, cuja incorporação foi de 227,30 mg C.kg⁻¹ de solo, o que é refletido em COT e MO. Os resultados da pesquisa que contribui para construção inicial de uma base de dados concretas para regularização ambiental de preservação das áreas de florestas, quando associamos as FES com atividade microbiológica de armazenamento de C.

Palavras-chave: Quociente metabólico, atividade microbiológica, carbono incorporado, homogeneização.

Fonte de financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), (Processo 430469/2018-7).

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: anevazsouza@gmail.com

Recebido: 5 fevereiro 2021.

Aceito: 23 abril 2021.

Editor: Paulo Henrique Müller Silva.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Abstract

Forests are capable of sequestering and storing large amounts of carbon (C) in biomass and, over time, this carbon is cycled and incorporated into the soil. Cultivation of forest species, such as of eucalypts are beneficial for incorporating C, however, these are poor in diverse systems when compared to native Cerrado forests. Based on the premise that microbiological activity should be higher in native areas due to less human interference, the objective of this study was to verify the effect of eucalyptus forests on soil quality bioindicators when compared to semi-deciduous seasonal forests. The study was conducted in two different forest systems: semideciduous seasonal forest (FES) of the Cerrado and forest of *Eucalyptus* spp. located in the southeastern region of Goiás. For each forest system, three fragments were analyzed, totaling six fragments. In each fragment, three transects were demarcated and subdivided into ten 10 m x 10 m subplots. A randomized block design with subdivided plots was used, where each plot was considered a block. In each subplot, soil samples were collected and used to determine microbial biomass carbon (MBOC), microbial respiration (MR), metabolic quotient (qCO_2), microbial quotient ($qMIC$), total organic carbon (TOC) and organic matter (OM). The results show that only qCO_2 did not differ statistically between FES and eucalypts, with the other variables showing higher values of microbial activity and incorporation of C when compared to eucalyptus. This is also confirmed by the analysis of variance and PCA, where the FES fragments were statistically different and superior to the three eucalypt forest fragments. When looking at FES fragments, especially regarding the sequestration of C, these present more microbiological activity and greater storage of C. The values of BOD of the native area showed an average of 568.84 mg C.kg⁻¹ of soil, more than double than the incorporation of the planted area; where the incorporation was 227.30 mg C.kg⁻¹ of soil, which also the case in TOC and MO. The results of the research contribute to the initial construction of a concrete database for the environmental regularization of the preservation of forest areas, when we associate the FES with microbiological activity of C storage.

Keywords: Metabolic quotient, microbiological activity, carbon incorporated, homogenization.

INTRODUÇÃO

O acúmulo de algumas formas de carbono tais como, dióxido de carbono (CO₂), CFC (Cloro-flúor-Carbono), óxido nítrico, podem provocar o aumento na temperatura, o que está diretamente relacionado ao aquecimento do planeta (Cunha & Rodrigues, 2019). Uma vez que os níveis desses gases ultrapassam o ponto de equilíbrio, ocasionam a retenção de calor, provocando diversos distúrbios ambientais (oscilações bruscas de temperatura e precipitação, derretimento das geleiras) (Junges et al., 2018). O carbono é encontrado em cinco reservatórios principais: atmosfera, aquático, geológico, solo e biota, constituindo um estoque aproximado de 46.820 Gt, distribuídos na paisagem (Siefert & Santos, 2018).

Com o cenário de ampliação e desenvolvimento florestal e o constante aumento na procura industrial por produtos florestais, o eucalipto destacou-se das outras espécies, e no Brasil devido à boa adaptação às condições edafoclimáticas do país, o rápido crescimento, boa produtividade e menor custo de implementação e manutenção quando comparado com outras espécies (Barbosa et al., 2020). São 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas em 2018 no Brasil, valor mantido em relação ao ano de 2017, deste total 5,7 são áreas com plantios de eucalipto (Indústria Brasileira de Árvores, 2019).

O cultivo de espécies florestais, com ciclo de vida longo, proporciona várias vantagens, tais como, a permanência da vegetação por um período de tempo bem maior em relação a cultivos anuais que tem menor ciclo de vida curto (Lal, 2005). Com mais tempo de permanência na área, maior será o armazenamento de carbono pela vegetação na sua biomassa, assim como, maior aporte será depositado e armazenado ao solo (Costa & Streck 2018). No ano de 2018, o estoque de CO₂ equivalente do segmento florestal somou 4,2 bilhões de toneladas, com 1,70 correspondente as plantadas e 2,49 das florestas nativas (Indústria Brasileira de Árvores, 2019).

Os ecossistemas florestais são capazes de sequestrar e estocar carbono na biomassa. Por meio da fotossíntese as plantas transformam o CO₂ atmosférico em carbono orgânico (CO), que é armazenado na biomassa vegetal, posteriormente este é transformado em CO do solo, elencando o abiótico e biótico do ciclo de C (Pausch & Kuzyakov, 2018). Um hectare de floresta em desenvolvimento é capaz de absorver de 150 a 200 toneladas de carbono; estimasse que, em

média, uma única árvore absorve 180 quilos de CO₂ (Morais et al., 2020). Assim, como sobre o solo, são depositados restos materiais vegetais como folhas, ramos, cascas, órgãos reprodutivos, além animais que compõem a serapilheira, que são parte do sistema de entrada (aporte de material orgânico) e saída (decomposição) (Carvalho et al., 2017).

São três principais fatores envolvidos no processo de dinâmica de entrada do carbono no solo pela comunidade microbiológica, (1) clima, (2) propriedades físico-químicas do solo e (3) propriedades bióticas, que consiste principalmente na quantidade e qualidade do resíduo contendo C adicionado (Luo et al., 2017). A quantidade de C armazenado no solo, está relacionado com o equilíbrio entre a entrada de C do solo, seja por meio da serapilheira, raízes e seus exsudados, assim como pela associação micorrízica que afeta a entrada de C do solo por meio da decomposição da matéria orgânica (Huang et al., 2020). O C advindo com a exsudação radicular serve como fonte de energia para a ativação da microbiota, estimulando a produção de enzimas extracelulares que atuam na quebra do material orgânico, esse é um processo chamado de efeito *priming* da rizosfera (Zhang et al., 2018).

O solo é um sistema aberto, onde ocorre troca de energia e matéria com o meio, assim o armazenamento de C é devido as taxas de decomposição do material orgânico (Primieri et al., 2017). A circulação de matéria orgânica (MO) nos ambientes naturais ou transformados podem resultar em cursos específicos de nutrientes e energia dentro da paisagem, regulando internamente cada ecossistema, gerando como resposta um equilíbrio dinâmico (Miranda & Avelar, 2018). A qualidade de um sistema está ligada a capacidade do mesmo em desempenhar suas funções, de acordo com seus limites, proporcionando a manutenção da produtividade biológica, assim como conservar ou reparar a qualidade da ambiental (Silva et al., 2020).

Os indicadores mais comumente utilizados para avaliar a atividade microbiana do solo, são RM (respiração microbiana), CBM (carbono da biomassa microbiana), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$) (Araújo Neto et al., 2014). A RM consiste na liberação de C-CO₂ pelos microrganismos, nos seus processos metabólicos, CBM refere-se à imobilização temporária do elemento na biomassa viva do microrganismo (Braga et al., 2016). O qCO_2 informa quanto de C é perdido por meio do efluxo de CO₂ para incorporar uma unidade de C na biomassa microbiana e $qMIC$ representa a relação entre o CBM/COT utilizada como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, demonstrando a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos (Dadalto et al., 2015).

As perdas de C ocorrem principalmente pela atividade respiratória microbiana enquanto decompõem os resíduos já incorporados ao sistema, assim como aqueles que ainda estão no processo de transformação, outras formas de se perder o C é devido a lixiviação e erosão (Primieri et al., 2017). Segundo Baldotto et al., 2015, a mobilidade do carbono está relacionada com as frações de MO presentes no solo, formas mais solúveis e menos humificadas apresentação potencial para lixiviação. Estes autores avaliando estoque e frações de carbono orgânico em solo de floresta, cultivo agrícola e pecuária constataram que as florestas nativas, forneceram condições mais adequadas para a humificação, demonstrando que estes sistemas promovem maior estabilidade do carbono sequestrado em relação aos demais.

Deste modo as florestas nativas são consideradas ambientes mais equilibrados, uma vez que não apresentam menores intervenções humana, em contrapartida os cultivos florestais plantados os quais foram criados pela ação do homem. Partindo da premissa que a atividade microbiológica deve ser maior nas áreas nativas em razão da menor interferência antrópica, o objetivo do presente estudo foi verificar o efeito da implantação de florestas de eucalipto sobre bioindicadores de qualidade do solo quando comparada às florestas estacionais semidecíduais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em dois diferentes sistemas florestais: floresta estacional semidecidual do Cerrado e florestas plantadas de *Eucalyptus* spp. localizadas na região sudeste de Goiás, nos municípios de Ipameri, Caldas Novas, Campo Alegre e Catalão. O clima

da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AW - Tropical com estação seca no inverno, caracterizando clima subtropical, com precipitação média anual de 1531 mm concentrada principalmente entre os meses de dezembro e março, em junho e julho as precipitações são praticamente nulas, com temperaturas médias são da ordem de 18°C (inverno) e 30°C (verão) e média anual de 23°C (Alvares et al., 2013).

Para a escolha dos fragmentos florestais foram priorizados aqueles com formato o mais circular possível para reduzir o viés da influência do formato do fragmento. Já as florestas plantadas de Eucalipto (*Eucalyptus* spp.), foram selecionadas aquelas com idade superior a sete anos, apresentando porte florestal, exibindo sua área basal, volume e deposição de material orgânico parecidos com as florestas nativas da região.

Para cada um dos sistemas florestais foram feitas análises de três fragmentos, totalizando seis fragmentos, sendo que em cada fragmento foram demarcados três transectos e estes subdivididos em dez subparcelas com dimensão 10 m x 10 m (Figura 1). Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, onde considerou-se cada fragmento como um bloco. As coletas do solo para análise ocorreram na estação chuvosa (mês de janeiro e março), em cada parcela se coletou três amostras simples na camada superficial do solo com 15 cm de profundidade, para compor uma amostra composta.

Figura 1: Esquema representativo da disposição e tamanho dos transectos (parcelas) e subparcelas dentro de cada fragmento (bloco).

As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Biologia do Solo, da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri- GO. As amostras coletadas no campo foram transportadas para laboratório em sacos plásticos identificados e lá peneiradas em peneiras com 2 mm de malha, para retirar qualquer material orgânico trazido como folhas, raízes, assim como mesofauna e macrofauna, uma vez que o trabalho é direcionado aos microrganismos do solo.

-Carbono da biomassa microbiana (CBM)

O CBM foi quantificado pelo método da irradiação-extração (Mendonça & Matos, 2005). Esta técnica utiliza energia eletromagnética (micro-ondas), através da transferência de energia e temperatura, para causar um rompimento celular com liberação dos compostos intracelulares. Foram pesados 20g de solo já peneirado, sendo que 10g foram ao micro-ondas por tempo preestabelecido para a irradiação. Foi adicionada a amostra de solo solução extratora (sulfato de potássio) e agitada por 30 minutos em agitador horizontal, com posterior filtragem para retirada do sobrenadante com auxílio de papel filtro. Em seguida foram pipetados 8 mL do extrato filtrado para tubo de ensaio, adicionados 2 mL de dicromato de potássio, 5 mL de ácido orto-forfórico e 10 mL de ácido sulfúrico. Efetuou-se em seguida a digestão colocando os tubos de ensaio no bloco digestor por 30 min com temperatura de

100°C. Deixou esfriar completamente para iniciar titulação, acrescido 40 mL de água deionizada o conteúdo do tubo este colocado em um erlenmeyer com mais 4 gotas do indicador (difenilamina). Titulação do excesso do dicromato foi realizada com solução de sulfato ferroso amoniacal. A determinação do CBM em mg C.kg^{-1} de solo e calculando-se a diferença do carbono nas amostras irradiadas e não irradiadas.

-Respiração microbiana (RM)

Para quantificação da respiração microbiana (RM), cada amostra contendo 100 g de solo foram colocadas em frascos de vidro, com tampa de rosca, no centro, depositou-se um frasco contendo 10 mL de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Estes fechados hermeticamente e mantidos em local escuro por 4 dias, para a de titulação da base livre com HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ que permitiu calcular, por subtração, a quantidade de C-CO_2 que combinará com o NaOH (Anderson & Domsch, 1993). A respiração do solo foi determinada em $\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ de solo. dia^{-1} .

-Quociente metabólico $q\text{CO}_2$

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi calculado pela razão entre a taxa de RM e o CBM, sendo expresso $\text{mg C-CO}_2 \text{ mg Cmic}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Anderson & Domsch, 1993).

-Carbono orgânico total (COT)

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método volumétrico com dicromato de potássio, este e uma modificação da metodologia empregada por Walker-Black (Silva et al., 2009). Pesou 0,5g de TFSA (terra fina seca ao ar), está colocada em erlenmeyer de 250 ml, acrescido com 10 mL de solução de bicromato de potássio estes foram levados a placa elétrica até alcançarem fervura branda durante 5 minutos. Após esfriar e feita a determinação, acrescentou-se ao erlenmeyer 80 mL de água deionizada, 1 mL de ácido ortofosfórico e 3 gotas de difenilamina (indicador). A solução final titulada com solução de sulfato ferroso amoniacal. A quantidade de COT é obtida com base na diferença entre o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco e aquela gasta do dicromato restante após oxidação da amostra. O CO da amostra e dada pela expressão, e seu valor é expresso em g/kg:

$$\text{g de } \frac{\text{C}}{\text{kg}} \text{ de TFSE} = 0,06 * V (40 - V_a * f) * "f" \quad (1)$$

em que:

TFSE= terra fina seca em estufa.

V= volume de bicromato de potássio empregado.

Va= volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra.

f= volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco.

0,06= fator de correção.

"f"= fator de correção para TFSE.

-Quociente microbiano $q\text{MIC}$

O quociente microbiano ($q\text{MIC}$) foi estimado pela razão CBM/ COT, expressa em % (Anderson & Domsch, 1993).

-Matéria orgânica (MO)

A MO existente na amostra foi calculada pela expressão:

$$\text{g de } \frac{\text{MO}}{\text{kg}} = \frac{\text{g}}{\text{kg}} \text{ de COT} * 1,724 \quad (2)$$

1,724 é utilizado por admitir que, na composição da MO o carbono participa com 58%.

-Umidade gravimétrica do solo (Ug%)

Sua determinação foi feita pesando-se 10g de solo, obteve da massa de solo úmido (MSU) depois levado a estufa a temperatura de 120°C por 72 horas para obteve da massa de solo seco (MSS). Com estes dois valores se faz o cálculo pela fórmula:

$$Ug\% = \left[\frac{MSU - MSS}{2} \right] * 100 \quad (3)$$

$$Ug\% = [(MSU - MSS) / 2] \times 100$$

MSU= massa de solo úmido.

MSS= massa de solo seco.

Para todos os atributos estudados foi realizado teste de normalidade Shapiro-Wilk W. Comprido o pressuposto de normalidade e homogeneidade de variância, submeteu todas as variáveis a teste t de student a 5% de probabilidade para comparar os dois sistemas florestais, para tal análise se utilizou os valores médios dos transectos. Para testar o efeito da vegetação nativa e eucalipto das diferentes áreas nos atributos de solo estes foram comparados usando ANOVA pelo o teste de Tukey, adotando o nível de 5% de probabilidade.

Para verificar a existência de correlação entre as variáveis analisadas, utilizando-se as médias dos transectos de cada atributo estudado foi realizado uma análise de correlação de Pearson entre todas as variáveis avaliados. Por fim uma análise multivariada (Análise de componentes principais – PCA) foi empregada para correlacionar os dois sistemas com as variáveis que melhor os caracterizam. As análises estatísticas iniciais foram realizadas com o auxílio do software estatístico STATISTICA 7.0 (Esaki et al., 2012), e a PCA foi processada usando o software PAST (HAMMER et al. 1999-2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois sistemas florestais estudados propiciaram respostas diferentes quanto as análises microbiológicas, carbono e umidade (Tabela 1). Apenas o quociente metabólico não apresentou médias significativamente diferentes (Tabela 1). As médias das demais variáveis respiração microbiana (RM), carbono da biomassa microbiana (CBM), carbono orgânico total (COT), quociente microbiano (qMIC), matéria orgânica (MO) e umidade gravimétrica do solo (Ug) foram maiores na floresta estacional, em relação às florestas Eucalipto (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de média e desvio-padrão e resultados do teste t de student para respiração microbiana (RM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO₂), carbono orgânico total (COT), quociente microbiano (qMIC), matéria orgânica (MO) e umidade gravimétrica do solo (Ug), de dois sistemas florestais no sudeste de Goiás.

Atributos analisados	Florestas		t	p
	FES	Eucalipto		
RM (mg C-CO ₂ . kg ⁻¹ de solo.dia ⁻¹)	17,41 (±3,49)a	9,53(±3,56) b	4,59**	0,00035
CBM (mg C. kg ⁻¹ de solo)	568,84(±157,27)a	227,30(±55,59)b	6,11**	0,00002
qCO ₂ (mg C-CO ₂ . mg ⁻¹ Cmic.dia ⁻¹)	0,07(±0,03)a	0,08(±0,04)a	0,47 ^{ns}	0,6390
COT (g/kg)	8,82(±2,13)a	5,01(±1,50)b	4,29**	0,00064
qMIC (%)	7,84(±2,38)a	5,46(±1,66)b	2,42*	0,02
MO (g/kg)	15,21(±3,68)a	8,64(±2,59)b	4,29**	0,00064
UG (%)	34,53(±9,34)a	21,57(±4,33)b	3,74**	0,00195

As médias apresentadas são provenientes dos valores de 9 transectos das áreas de Eucalipto e 8 das áreas de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual (FES). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% e 1% de significância. ** - significativo a 1%, * - significativo a 5% e ns- não significativo.

A média de RM das Florestas Estacionais Semidecíduais (FES) foi praticamente o dobro ($17,41 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ de solo} \cdot \text{dia}^{-1}$) em relação ao Eucalipto ($9,53 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ de solo} \cdot \text{dia}^{-1}$). Os valores de CBM da área nativa apresentaram média de $568,84 \text{ mg C} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ de solo}$, mais que o dobro que a incorporação da área plantada, cuja incorporação foi de $227,30 \text{ mg C} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ de solo}$ (Tabela 1).

Trabalhos ao avaliar a dinâmica do carbono em Campos Nativos e Florestas Ombrófila Mista e plantações florestais de Eucalipto e Pinus em Santa Catarina, demonstrou que ao realizar o reflorestamento com espécies não nativas por 12 anos sem perturbação, as quantidades de C na biomassa microbiana foram inferiores aos sistemas nativos (Primieri et al., 2017). Segundo esses mesmos autores isso é devido ao tipo de resíduo vegetal depositado no solo, uma vez que os reflorestamentos são mais homogêneos, estes tendem a especializar a microbiota. Resposta semelhante e encontrado no presente trabalho, uma vez que a incorporação de C no microrganismo é maior em fragmentos de FES.

A explicação para tal fato está relacionada a serrapilheira de baixa qualidade nutricional, o que afeta a biomassa microbiana, que se encontra sob estresse e é incapaz de utilizar toda a energia obtida na decomposição para crescimento (Braga et al., 2016). Ou seja, o microbioma das florestas com monocultivo tendem a ser menos diversificados, os organismos presentes são aqueles selecionados pelo tipo de material que está sendo disponibilizado, o que leva a maiores perdas de C para degradação do material, assim como menor incorporação. Assim como concentrações de CO_2 atmosférico sofrem forte influência do equilíbrio entre entradas e saídas de carbono orgânico do solo (COS), sendo que as mudanças no uso da terra e atividade humana são os maiores responsáveis sobre este equilíbrio de carbono (Primieri et al., 2017).

Os resultados são expressivos, uma vez que a RM e CBM foram em média 100% maiores nas áreas nativas do que nos sistemas plantados de eucalipto. Os valores de CBM e RM são semelhantes aos encontrados por Novak et al. (2018) ao avaliarem os atributos microbiológicos de solo sob diferentes usos, seus valores encontrados de CBM e RM em fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua foi de $537,93 \text{ mg C} \cdot \text{g}^{-1}$ e $38 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ solo} \cdot \text{dia}^{-1}$, já para floresta de Eucalipto foram $227,30 \text{ mg C} \cdot \text{g}^{-1}$ e $9,53 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ solo} \cdot \text{dia}^{-1}$ respectivamente.

Segundo tabela de classe de interpretação dos indicadores microbiológicos do solo descrita por Alves de Castro Lopes et al. (2013), que considera com nível adequado de CBM $405 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, os fragmentos de FES estudados no presente estudo se encontram com teores de CBM dentro da nível adequado sendo até mesmo maiores do que os descritos, todavia os fragmentos de Eucalipto já não estão dentro dessa faixa. O que pode ser associar aos menores teores de qMIC encontrados no Eucalipto, uma vez que este é um indicador de qualidade da matéria orgânica do solo, já que ele representa quanto do CO advém da biomassa dos microrganismos do solo, e a eficiência do mesmo no uso desse composto (Dadalto et al., 2015).

Os percentuais de qMIC variam entre 5,46 e 7,84, sendo que a MO das FES, provem uma capacidade aquém de prover a vida no solo (Tabela 1). Em termos de porcentagem de umidade, o armazenamento em solos nas florestas estacionais são 61% maiores que nos eucaliptos. O teor médio de umidade na FES foi de 34,53% enquanto no cultivo de Eucalipto foi de 21,57% (Tabela 1). No presente estudo consta-se que o aporte de carbono incorporado ao solo pelas florestas nativas é superior as áreas de eucalipto, demonstrando que por haver uma maior diversidade na comunidade microbiana, sua eficiência em incorporar carbono é maior quando comparado as comunidades encontradas em sistemas de monocultivo florestal.

O mesmo resultado foi encontrado por Wink et al. (2013), ao estudar a influência de diferentes idades de plantações de eucalipto nos estoques de carbono do solo e biomassa vegetal, estes encontraram menores quantidades de carbono em 0,0-0,10 m nas florestas de eucalipto com até 15 anos de idade quando comparada aos ambientes nativos. Segundo os mesmos autores mencionados anteriormente, há diferença entre os dois ambientes se deve, ao impacto que as práticas de implantação da floresta de eucalipto, causam sobre o solo,

reduzindo o C presente no mesmo, e apenas com tempo estes teores podem ser restabelecidos.

Resultado distinto ao do presente estudo foi encontrado em pesquisa desenvolvida avaliando as mudanças no fracionamento físico do C orgânico com diferentes usos do solo no Cerrado, não foram observadas diferenças significativas nos teores de COT quando comparado cerrado sensu stricto com plantio de eucalipto (Costa et al., 2020). De acordo com os autores, o eucalipto plantado há nove anos, proporcionou neste período contínua a produção de biomassa depositada no solo, aumentando o aporte de material orgânico sobre o solo, consequentemente, armazena maior conteúdo de COT. Contudo, nossos resultados constatamos que o COT e MO nas FES foram maiores que nas áreas de Eucalipto.

Ao avaliar os estoques de biomassa, carbono e nitrogênio da serapilheira acumulada em três ecossistemas florestais, os estoques totais de carbono orgânico da serapilheira foram de 5,6 Mg·ha⁻¹, para o eucalipto, 2,7 Mg·ha⁻¹, para a floresta nativa, e 0,6 Mg·ha⁻¹, para *Pterogyne nitens*, o que corresponde a teores médios de C de 43%, 40% e 27% respectivo a cada uma das florestas citadas anteriormente (Barbosa et al., 2017). Esses autores demonstraram que florestas de eucalipto conseguem depositar maiores quantidade de serapilheira nos solos que as florestas nativas, contudo no presente estudo o C incorporado ao solo foi maior nas florestas estacionais do que nas florestas de eucalipto.

As FES apresentaram valores superiores em relação as florestas de Eucalipto, com exceção das variáveis qCO_2 e $qMIC$ (Tabela 2). Suas médias da análise de variância das três áreas de Florestas Estacionais Semidecíduais e três florestas de Eucalipto são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Médias e desvio padrão e resultados da análise de variância para respiração microbiana (RM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2), carbono orgânico total (COT), quociente microbiano ($qMIC$), matéria orgânica (MO) e Umidade gravimétrica do solo (Ug), de seis áreas duas florestas no sudeste de Goiás, sendo três áreas de Florestas Estacionais Semidecíduais (FES) e três áreas de florestas de Eucalipto (Euc).

Atributos analisados	Florestas						p	F
	FES 1	FES 2	FES 3	Euc 1	Euc 2	Euc 3		
RM	21,22 (±3,76)a	14,13 (±4,52)b	16,69 (±4,85)b	8,26 (±2,39)c	6,27 (±2,23)c	13,95 (±4,69)b	0,00**	53,64
CBM	735,53 (±469,90)a	521,49 (±335,79)b	382,65 (±129)bc	270,38 (±118,98)c	171,77 (±123,33)c	240,47 (±126,77)c	0,00**	17,70
qCO_2	0,06 (±0,11)a	0,08 (±0,16)a	0,04 (±0,03)a	0,03 (±0,03)a	0,07 (±0,09)a	0,12 (±0,21)a	0,14 ^{ns}	1,66
COT	10,66 (±7,24)a	8,12 (±3,79)ab	7,27 (±1,71)abc	4,82 (±1,71)c	3,98 (±2,87)c	6,14 (±3,29)bc	0,00**	9,75
$qMIC$	9,29 (±8,36)a	7,62 (±5,77)ab	5,67 (±2,55)ab	6,07 (±2,94)ab	5,80 (±5,31)ab	4,56 (±2,75)c	0,01*	2,81
MO	18,38 (±12,48)a	14,01 (±6,54)ab	12,54 (±2,94)abc	8,32 (±2,94)c	6,87 (±4,95)c	10,54 (±5,68)bc	0,00**	9,75
UG	32,50 (±4,96)b	44,55 (±33,76)a	23,02 (±3,49)bc	17,93 (±2,43)c	19,54 (±1,54)c	27,22 (±3,08)bc	0,00**	13,26

Valores apresentados são provenientes dos valores de 6 áreas florestais (3 fragmentos de floresta nativa e de plantios de eucalipto). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% e 1% de significância. ** - significativo a 1%, * - significativo a 5% e ns- não significativo. Respiração microbiana (RM) (mg C- CO₂· kg⁻¹ de solo.dia⁻¹), carbono da biomassa microbiana (CBM) (mg C. kg⁻¹ de solo), quociente metabólico (qCO_2) (mg C-CO₂· mg⁻¹ Cmic.dia⁻¹), carbono orgânico total (g/kg) (COT), quociente microbiano (%) ($qMIC$), matéria orgânica (g/kg) (MO) e Umidade gravimétrica do solo (%) (Ug).

Dos atributos avaliados apenas qCO_2 , não apresentou diferenças significativas entre as seis áreas. A área de FES 1 se mostrou com maior atividade respiratória microbiana do solo, sendo seguida por FES 2 e 3 e Eucalipto 3, as menores médias foram áreas Eucalipto 1 e 2 (Tabela 2). A incorporação de C pelo microrganismo foi maior na FES 1, enquanto as áreas de Eucalipto 1, 2 e 3 se apresentaram inferiores e estatisticamente semelhantes (Tabela 2). Para COT, a maior média é da área FES 1, seguido de FES 2 e 3, novamente as áreas de eucalipto mostrara-se com os menores resultados (Tabela 2).

Em relação as médias de $qMIC$, a área FES 1 se mostra estatisticamente superior as demais, áreas FES 2 e 3 e Eucalipto 1 e 2 foram semelhantes e superiores ao Eucalipto 3

(Tabela 2). A MO segue a mesma tendência de resultado de COT (Tabela 2). Quanto a umidade gravimétrica do solo, como nas demais variáveis, as áreas de FES se destacaram quanto a maior retenção de água no solo, sendo que a FES 2 apresentou o maior resultado com 44,55% de umidade, enquanto a área com menor retenção foi a Eucalipto 1 com 17,93%, ou seja, a área nativa com maior retenção, armazenou 50% a mais que a floresta de monocultivo de eucalipto (Tabela 2).

As comparações realizadas entre todas as florestas demonstram o quanto um ambiente é diferente do outro, uma vez que mesmo em locais diferentes os dois sistemas apresentam diferenças estatísticas para maioria das variáveis estudadas. Dentro do mesmo tipo de ambiente se encontra resultados distintos, contudo os resultados dentro do mesmo ecossistema são mais próximos entre si, do que comparado ao outro ecossistema. Os fragmentos de Eucalipto refletem maior estabilidade quanto a variação das médias encontradas ao compararmos aos fragmentos de FES, contudo mesmo com a variação, os ambientes nativos apresentaram os maiores valores, e diferiram estatisticamente de acordo com test T, em muitos dos casos não a 5% de probabilidade mais a 1%.

A FES 1 foi a área que apresentou os maiores valores quando refletimos sobre sequestro (CBM, COT e MO) e emissão de carbono (RM). A variação encontrada dentro dos sistemas de FES e devido a maior diversidade vegetal presente quando comparado a menor variação no Eucalipto, sendo esse um sistema homogêneo, refletindo como este foi construído. Em sistemas de plantados, primeiramente a área é homogeneizada, adubada, para posteriormente iniciar o processo de plantio das mudas de uma única espécie, homogeneizando consequentemente o ambiente por introduzir no local apenas uma espécie vegetal.

Modificações na cobertura vegetal interfere nos processos de decomposição do material orgânico, e consequentemente nas propriedades do solo assim como na matéria orgânica do solo (Barreto-Garcia et al., 2019). Solos com plantas exóticas (exemplo o eucalipto), são ricos em carbono prontamente metabolizáveis, o que resulta em menor reserva de C (Castro et al., 2019), pois a estrutura e funcionamento metabólico do microbioma responde de forma distinta a ambientes nativos (Castro et al., 2019).

Das 21 relações testadas, nove não se correlacionam. Os coeficientes de correlação relacionados com a atividade de liberação de C-CO₂ se mostraram significativos e expressivos, sendo eles: RM x COT (r=0,87), RM x MO (r=0,87), RM x CBM (r=0,83), RM x UG (r=0,54) (Tabela 3). Ao relacionar a incorporação de carbono pelos microrganismos com os demais atributos este não obteve correlação significativa apenas com qCO₂, ao relacionar CBM x COT o coeficiente de correlação foi de r=0,85, CBM x qMIC r=0,72, CBM x MO r=0,85, e UG r=0,64 (Tabela 3). O quociente metabólico apresentou correlação significativa apenas com quociente microbiano, a mesma sendo uma correlação negativa linear, quando há aumento do qCO₂ nota-se uma redução nos valores de qMIC (r=-0,54) (Tabela 3). O COT e a MO além das correlações já apontadas também se correlacionam entre si, assim como com a UG com fator de correlação de r=0,61.

Tabela 3: Coeficiente de correlação (r) entre os parâmetros de solo estudados para seis fragmentos de florestas (três Florestas Estacionais Semidecíduais e três florestas de Eucalipto plantadas) no sudoeste de Goiás.

	RM	CBM	qCO ₂	COT	qMIC	MO	UG
RM	—	0,83**	0,11 ^{ns}	0,87**	0,41 ^{ns}	0,87**	0,54*
CBM	—	—	-0,13 ^{ns}	0,85**	0,72**	0,85**	0,64**
qCO ₂	—	—	—	0,21 ^{ns}	-0,54*	0,21 ^{ns}	0,33 ^{ns}
COT	—	—	—	—	0,32 ^{ns}	1,0**	0,61**
Qmic	—	—	—	—	—	0,32 ^{ns}	0,33 ^{ns}
MO	—	—	—	—	—	—	0,61**

Teste de correlação de Pearson. ** - significativo a 1%, * - significativo a 5% e ns- não significativo. - Respiração microbiana (RM) (mg C-CO₂. kg⁻¹ de solo.dia⁻¹), carbono da biomassa microbiana (CBM) (mg C. kg⁻¹ de solo), quociente metabólico (qCO₂) (mg C-CO₂. mg⁻¹ Cmic.dia⁻¹), carbono orgânico total (g/kg) (COT), quociente microbiano (%) (qMIC), matéria orgânica (g/kg) (MO) e Umidade gravimétrica do solo (%) (Ug). Para a análise foram utilizados os valores provenientes de 9 transectos das áreas de eucalipto e 8 das áreas de fragmentos de florestas nativas.

Ao avaliar os sistemas separadamente o percentual de interações significativas foi menor. Os coeficientes de correlação das FES e Eucalipto individualmente são apresentados na Tabela 4. O ecossistema nativo manteve interações significativas entre RM x CBM, RM x COT, RM x MO, CBM x COT, CBM x $qMIC$, CBM x MO e COT x MO (Tabela 4). Enquanto a plantação de eucalipto apresentou correlação entre RM x qCO_2 , RM x COT assim como RM x MO, RM x UG, qCO_2 x $qMIC$, qCO_2 x UG, MO x COT os valores estão disponíveis na Tabela 4.

Tabela 4: Coeficiente de correlação (r) entre os parâmetros de solo estudados em fragmentos de três Florestas Estacionais Semidecíduais e três Florestas de Eucalipto no sudeste de Goiás.

	RM	CBM	qCO_2	COT	$qMIC$	MO	UG
RM	—	0,73**	-0,17 ^{ns}	0,72*	0,36 ^{ns}	0,72*	-0,42 ^{ns}
CBM	0,36 ^{ns}	—	0,03 ^{ns}	0,72*	0,71*	0,72*	0,18 ^{ns}
qCO_2	0,67**	-0,27 ^{ns}	—	0,34 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,54 ^{ns}
COT	0,71*	0,39 ^{ns}	0,63 ^{ns}	—	0,12 ^{ns}	1,0**	0,09 ^{ns}
$qMIC$	-0,39 ^{ns}	0,38 ^{ns}	-0,77**	-0,54 ^{ns}	—	0,12 ^{ns}	0,10 ^{ns}
MO	0,71*	0,39 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1**	-0,54 ^{ns}	—	0,09 ^{ns}
UG	0,88**	-0,00 ^{ns}	0,82**	0,49 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,49 ^{ns}	—

Teste de correlação de Pearson. ** - significativo a 1%, * - significativo a 5% e ns- não significativo. - Respiração microbiana (RM) (mg C-CO₂. kg⁻¹ de solo.dia⁻¹), carbono da biomassa microbiana (CBM) (mg C. kg⁻¹ de solo), quociente metabólico (qCO_2) (mg C-CO₂. mg⁻¹ Cmic.dia⁻¹), carbono orgânico total (g/kg) (COT), quociente microbiano (%) ($qMIC$), matéria orgânica (g/kg) (MO) e Umidade gravimétrica do solo (%) (UG). Para a análise foram utilizados os valores provenientes de 9 transectos das áreas de fragmentos de Florestas Estacionais Semidecíduais (valores colocados na parte superior direita da tabela, cor verde escura) e florestas de Eucalipto (valores colocados na parte inferior esquerda da tabela, cor verde clara).

A concorrência entre microbiota do solo e plantas durante a estação chuvosa limita o crescimento microbiano, uma vez que as plantas são metabolicamente mais ativas (Fu et al., 2020). Isso não quer dizer que a atividade é menor (taxa de respiração) dos microrganismos, mas nos leva a pressupor que sua atividade se encontra ainda mais acelerada uma vez que os mesmos necessitam competir com as plantas. Sugere-se que a variação de umidade entre uma área e outra reflete nas atividades de incorporação e perda de carbono, por isso a oscilação nos teores de CBM, RM entre as áreas nativas, seja reflexo das variações de umidade.

Como no presente trabalho, Bargali et al. (2018), encontraram correlação linear significativa ($r = 0,65$) entre CBM e umidade do solo, ao avaliar o carbono da biomassa microbiana em três tipos florestais na Índia. Os mesmos autores encontraram maiores teores de Carbono microbiano em florestas mistas, e atribuíram esse resultado a maior disponibilidade de matéria orgânica, uma vez que apresentou correlação positiva significativa entre MOS e CBM ($r = 0,86$). O que é consistente com as respostas que encontramos no presente trabalho.

A análise de componentes principais é formada por dois componentes (eixos 1 e 2), através desta análise conseguimos distinguir as áreas de estudo de acordo com os atributos de solo estudados. O eixo 1 explica 63% dos dados, já o eixo 23%, explicando no total 86% da variação dos dados (Figura 2). As variáveis que mais contribuíram para explicar o eixo 1 foram RM, CBM, COT, MO e UG, já qCO_2 e $qMIC$ contribuíram para a formação do eixo 2 (Anexo 1).

Eixo 1 separou o ecossistema de Florestas Estacionais Semidecíduais das florestas plantadas de Eucalipto (Figura 2). O agrupamento dos transectos das FES se deve principalmente aos atributos CBM, $qMIC$, RM e MO que apresentam os maiores vetores, contudo UG, COT também favoreceram sua formação. O atributo qCO_2 e o menos relacionado com este agrupamento. Entretanto, está ligado mais expressivamente aos transectos das áreas de eucalipto. Vale ressaltar a nítida a relação entre MO e COT, quanto maior os seus valores maiores foi a RM. $qMic$ está correlacionada negativamente com o qCO_2 .

Figura 2: Análise de componentes principais (PCA) dos atributos do solo de duas florestas no sudeste de Goiás (E = Eucalipto, FES = Floresta Estacional Semidecidual). Respiração microbiana (RM) ($\text{mg C- CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ de solo} \cdot \text{dia}^{-1}$), carbono da biomassa microbiana (CBM) ($\text{mg C} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ de solo}$), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) ($\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ Cmic} \cdot \text{dia}^{-1}$), carbono orgânico total (g/kg) (COT), quociente microbiano (%) ($q\text{MIC}$), matéria orgânica (g/kg) (MO) e Umidade gravimétrica do solo (%) (UG).

A separação em dois grupos distintos pela PCA, reafirma o que foi verificado nas análises de comparação de pares (Test t), assim como nas análises de variância. As variáveis microbiológicas contribuíram fortemente para separação dos dois ecossistemas. Sendo que o vetor $q\text{CO}_2$ foi o que mais favoreceu a formação do grupo dos fragmentos de Eucalipto. A redução das taxas de $q\text{CO}_2$ estão associadas as melhorias na qualidade do solo, deste modo, o $q\text{CO}_2$ está negativamente correlacionado com a qualidade do solo, consequentemente é um indicador de perturbações, stress ou desequilíbrio funcional (Diniz et al., 2020).

Segundo Assis et al. (2019) ambientes que apresentem algum tipo de estresse, acarreta maior oxidação de carbono pela população microbiana para sua manutenção, o que reflete em valores elevados de $q\text{CO}_2$, sobretudo em ambientes que sofreram alguma alteração recentemente e ainda não se encontram consolidados. E mesmo os fragmentos de Eucalipto já estarem com sete anos de idade não recuperaram estabilidade perdida com sua implantação, além dos tratos culturas que devem ser realizados que podem desestabilizar o ambiente.

Os resultados deste estudo fornecem um importante primeiro passo para compreender os mecanismos de regulação microbiana de entrada e perda de C pelos sistemas nativos e plantados. Os cultivos de florestais com fins comerciais são significativos, pois ajudam na mitigação dos gases de efeito estufa, além de gerar renda. Todavia, constatamos que florestas de eucalipto não são totalmente eficientes quanto as Florestas Estacionais Semidecíduais, pois a microbiota do solo é influenciada diretamente pelo microhabitats criados pelo material depositado ao solo.

CONCLUSÃO

A avaliação dos bioindicadores de qualidade do solo permitem inferir que as FES demonstraram possuir maior atividade microbiológica em relação às florestas de eucalipto, mesmo é comprovado ao analisarmos o aporte de C encontrado nas análises dos teores de COT e MO. Assim como estes resultados vem de consonância ao *feedback* da análise de

componentes principais, onde quociente metabólico, se mostra ligado às florestas de Eucalipto evidenciando o maior estresse que se encontra no sistema.

Os resultados da pesquisa que contribuem para construção inicial de uma base de dados concretas para regularização ambiental de preservação das áreas de florestas, quando associamos as FES com atividade microbiológica de armazenamento de C, demonstrando a importância da preservação das florestas estacionais semidecíduas para a manutenção das características microbiológicas do solo e aumento na absorção/retenção de carbono. Uma vez que as FES são fonte de biodiversidade, constituem ambientes muito importantes para a preservação de recursos farmacêuticos e também para o equilíbrio climático, uma vez que as mesmas são responsáveis por sequestrar dióxido de carbono, mantendo-o na sua biomassa.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas duas bolsas concedidas a dois dos autores quando estavam no mestrado e também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento para a realização da pesquisa (Processo 430469/2018-7).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Alves de Castro Lopes, A., Gomes de Sousa, D. M., Chaer, G. M., Bueno dos Reis Junior, F., Goedert, W. J., & de Carvalho Mendes, I. (2013). Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 77(2), 461-472. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2012.0191>.
- Anderson, T. H., & Domsch, K. H. (1993). The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 23(3), 393-395. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7).
- Araújo Neto, S. E., Silva, A. N., Kusdra, J. F., Kolln, F. T., & Andrade Neto, R. C. (2014). Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. *Ciência Agrônômica*, 45(4), 650-658. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000400003>.
- Assis, P. C. R., Stone, L. F., Oliveira, J. M., Wruck, F. J., Madari, B. E., & Heinemann, A. B. (2019). Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Agrarian (Dourados)*, 12(43), 57-70. <http://dx.doi.org/10.30612/agrarian.v12i43.8520>.
- Barbosa, R. A., Braga, G. B., Valverde, S. R., Vilela, K. F. V., Queiroz, C. S., Souza, P. B., & Gonçalves, W. (2020). The evolution of planted forests from 1986 to 2017: the Brazilian case of Peçanha, Minas Gerais. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(4), 72-84.
- Barbosa, V., Barreto-Garcia, P., Gama-Rodrigues, E., & Paula, A. (2017). Biomassa, carbono e nitrogênio na Serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. *Floresta e Ambiente*, 24, e201502243.
- Bargali, K., Manral, V., Padalia, K., Bargali, S. S., & Upadhyay, V. P. (2018). Effect of vegetation type and season on microbial biomass carbon in Central Himalayan forest soils, India. *Catena*, 171, 125-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.001>.
- Barreto-Garcia, P. A. B., Scoriza, R. N., & Paula, A. (2019). Edge effect on chemical attributes of soil in a seasonal forest. *Revista Árvore*, 43(1), e430109.
- Braga, R. M., Sousa, F. F. D., Venturin, N., & Braga, F. D. A. (2016). Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. *Cerne*, 22(2), 137-144. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201622022083>.
- Carvalho, D. C., Pereira, M. G., Guareschi, R. F., Simon, C. A., Toledo, L. O., & Piccolo, M. C. (2017). Carbono, nitrogênio e abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ do Solo em Coberturas Florestais. *Floresta e Ambiente*, 24, e20150093. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.009315>.
- Castro, S. P., Cleland, E. E., Wagner, R., Sawad, R. A., & Lipson, D. A. (2019). Soil microbial responses to drought and exotic plants shift carbon metabolism. *The ISME Journal*, 13(7), 1776-1787. PMID:30872806. <http://dx.doi.org/10.1038/s41396-019-0389-9>.

- Costa, A. A., Dias, B. O., Fraga, V. S., Santana, C. C., Sampaio, T. F., & Silva, N. (2020). Physical fractionation of organic carbon in areas under different land uses in the Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(8), 534-540. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n8p534-540>.
- Costa, D. B., & Streck, N. A. (2018). Duração da fase de mudas em eucalipto simulada em cenário de aumento de temperatura. *Ciência Florestal*, 28(2), 1263-1270. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509833378>.
- Cunha, R. G., & Rodrigues, M. A. (2019). Promovendo a alfabetização científica através de oficinas pedagógicas sobre atmosfera, efeito estufa e aquecimento global. *Experiências em Ensino de Ciências*, 14(1), 308-329.
- Dadalto, J. P., Fernandes, H. C., Teixeira, M. M., Cecon, P. R., & Matos, A. T. D. (2015). Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. *Engenharia Agrícola*, 35(3), 506-513. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p506-513/2015>.
- Diniz, A. R., Silva, C. F., Pereira, M. G., Balieiro, F. C., Silva, E. V., & Santos, F. M. (2020). Microbial Biomass and Enzyme Activity of Soil Under Clonal Rubber Tree Plantations. *Floresta e Ambiente*, 27(3), 1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.113817>.
- Esaki, K., Ichinose, Y., & Yamada, S. (2012). Statistical Analysis of Process Monitoring Data for Software Process Improvement and Its Application. *American Journal of Operations Research*, 2(1), 43-50. <http://dx.doi.org/10.4236/ajor.2012.21005>.
- Fu, D., Wu, X., Qiu, Q., Duan, C., & Jones, D. L. (2020). Seasonal variations in soil microbial communities under different land restoration types in a subtropical mountains region, Southwest China. *Applied Soil Ecology*, 153, 1-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103634>.
- Huang, X., Terrer, C., Dijkstra, F. A., Hungate, B. A., Zhang, W., & van Groenigen, K. J. (2020). New soil carbon sequestration with nitrogen enrichment: a meta-analysis. *Plant and Soil*, 454(1-2), 299-310. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-020-04617-x>.
- Industria Brasileira de Árvores – IBÁ. (2019). *Relatório 2019* (pp. 79). Brasília: IBÁ.
- Junges, A. L., Santos, V. Y., Massoni, N. T., & Santos, F. A. C. (2018). Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. *Experiências em Ensino de Ciências*, 13(5), 126-151.
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbono sequestration. *Forest Ecology and Management*, 2020(1-3), 242-258. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015>.
- Luo, Z., Feng, W., Luo, Y., Baldock, J., & Wang, E. (2017). Soil organic carbon dynamics jointly controlled by climate, carbon inputs, soil properties and soil carbon fractions. *Global Change Biology*, 23(10), 4430-4439. PMID:28544252. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13767>.
- Mendonça, E. S., & Matos, E. S. (2005). *Matéria orgânica do solo: métodos de análises* (pp. 107). Viçosa: UFV.
- Miranda, F. S. M., & Avelar, A. S. (2018). Dinâmica de carbono orgânico dissolvido em ecossistemas florestais: uma revisão sobre a lixiviação pela chuva. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(7), 2351-2374. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v11.07.p2351-2374>.
- Morais, E. O., Ribeiro, K. L., Veloso, R. B., & Veloso, M. D. M. (2020). Aplicação de modelos de regressão linear e não linear para estimativa de volume de biomassa e estoque de carbono. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 45621-45632. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n7-259>.
- Novak, E., Carvalho, L. A., Santiago, E. F., Brumatti, A. V., Santos, L. L., & Sales, L. C. (2018). Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. *Revista de Ciências Agrárias (Belém)*, 41(3), 603-611.
- Pausch, J., & Kuzyakov, Y. (2018). Carbon input by roots into the soil: quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Global Change Biology*, 24(1), 1-12. PMID:28752603. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13850>.
- Primieri, S., Muniz, A. W., & Lisboa, H. D. M. (2017). Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. *Floresta e Ambiente*, 24(0), e00110314. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.110314>.
- Silva, D. C., Pereira, J. M., Ortiz, D. C., Oliveira Filho, L. C. I., Pinto, L. V. A., & Baretta, D. (2020). Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 14795-14816. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n3-375>.

- SILVA F. C. (2009). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. (2a ed.). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Wink, C., Reinert, D. J., Muller, I., Reichert, J. M., & Jacomet, L. (2013). A idade das plantações de *Eucalyptus* sp. influenciando os estoques de carbono. *Ciência Florestal, Santa Maria*, 23(2), 333-343. <http://dx.doi.org/10.5902/198050989279>.
- Zhang, Z., Xiao, J., Yuan, Y., Zhao, C., Liu, Q., & Yin, H. (2018). Mycelium- and root-derived C inputs differ in their impacts on soil organic C pools and decomposition in forests. *Soil Biology & Biochemistry*, 123, 257-265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.05.015>.

Contribuição dos Autores: AGVS: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Software, Validação, Visualização, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição; GGS: Curadoria de Dados, Investigação, Metodologia, Validação; GAB: Curadoria de Dados, Investigação, Metodologia, Validação; LAS: Curadoria de Dados, Investigação, Metodologia, Validação; VDOJ: Metodologia, Software; CTRF: Investigação, Metodologia; MNS: Investigação, Metodologia; LCSS: Investigação, Metodologia; TEBS: Conceituação, Metodologia, Recursos, Supervisão, Validação, Visualização; VSV: Conceituação, Análise Formal, Obtenção de Financiamento, Administração do Projeto, Recursos, Software, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição.