

Campus  
Sudeste  
UnU - Ipameri



Universidade  
Estadual de Goiás



ESTADO  
DE GOIÁS



**Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal**

**EFEITO DE BORDA EM ECOSISTEMAS NATIVOS E PLANTAÇÕES  
DE EUCALIPTO SOBRE DINÂMICA DO CARBONO NO SOLO**

**ANE GABRIELE VAZ SOUZA**

**MESTRADO**

**Ipameri-GO  
2021**

**ANE GABRIELE VAZ SOUZA**

**EFEITO DE BORDA EM ECOSISTEMAS NATIVOS E  
PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO SOBRE DINÂMICA DO  
CARBONO NO SOLO**

Orientador: Prof. Dr. Vagner Santiago do Vale

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE

Ipameri

2021

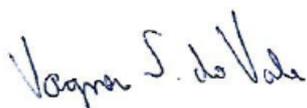
## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “EFEITO DE BORDA EM ECOSISTEMAS NATIVOS E PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO SOBRE DINÂMICA DO CARBONO NO SOLO”**

**AUTOR(A):** Ane Gabriele Vaz Souza

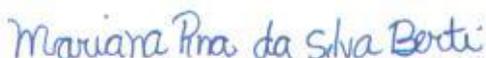
**ORIENTADOR(A):** Vagner Santiago do Vale

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE(A) EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:



Prof. Dr. Vagner Santiago do Vale (orientador)

Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri-GO



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mariana Pina da Silva Berti

Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri-GO



Prof. Dr. Sérgio de Faria Lopes

Universidade Estadual da Paraíba/UEPB

Registro de Declaração

Número: 077

Livro: R-01 Folhas: 2

Data: 01/02/2021

Assinatura:

Data da realização: 01 de fevereiro de 2021



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>6</b>
<b>2. RESUMO .....</b>	<b>9</b>
<b>3. ABSTRACT.....</b>	<b>10</b>
<b>4. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
4.1. OBJETIVO.....	14
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.3. RESULTADOS.....	19
4.4. DISCUSSÃO .....	24
4.5. CONCLUSÕES .....	27
4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28
<b>5. RESUMO .....</b>	<b>32</b>
<b>6. ABSTRACT.....</b>	<b>33</b>
<b>7. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>34</b>
7.1. OBJETIVO.....	37
7.2. MATERIAL E MÉTODOS .....	38
7.3. RESULTADOS .....	42
7.4. DISCUSSÃO.....	47
7.5. CONCLUSÕES.....	50
7.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
<b>8. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>55</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>
<b>10. ANEXO .....</b>	<b>58</b>

## RESUMO GERAL

Para reduzir o aquecimento global, é necessário a busca por estratégias cuja finalidade seja à mitigação das emissões desses gases e sua absorção. Assim como as florestas são sumidouros de carbono, a microbiota também está envolvida com o armazenamento de carbono no solo. Todavia em consequência das atividades antrópicas as florestas são reduzidas muitas vezes a fragmentos, estes ficam sujeitos fortemente ao efeito de borda, recebendo muita pressão dos fatores externos afetando seu funcionamento. Deste modo, o objetivo do trabalho foi avaliar mudanças do estoque de carbono orgânico e microbiano assim como o microclima ao longo da borda de seis fragmentos florestais. Para a avaliação foram feitos estudos em dois diferentes sistemas florestais, sendo três fragmentos de floresta estacional semidecidual do Cerrado e três de florestas plantadas de *Eucalyptus* spp. localizadas na região sudeste de Goiás, Brasil O delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo cada floresta um bloco diferente, os transectos representando as parcelas, e as subdivisões correspondem aos gradientes de distância borda/interior. Cada fragmento contou com três transectos de 100 metros cada, com dez parcelas formando um gradiente de distancias da borda a cada 10 metros, as parcelas contêm dimensão de 10 x 10 m. As variáveis de solo e microbiológicas testadas foram: carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana (RM), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), carbono orgânico total, quociente microbiano ( $qMIC$  %), matéria orgânica (MO) do solo e umidade gravimétrica do solo (Ug%). As variáveis microclimáticas aferidas foram: umidade relativa do ar (%); temperatura (°C), vento (km/h), luz (lux). Testou-se o efeito das distancias por meio de uma regressão. Para correlação entre todas as variáveis foi feita correlação e por fim uma análise de componentes principais (PCA). Os dois ambientes são significativamente diferentes, sendo que as FES são maiores sumidouros de carbono, assim como possuem um equilíbrio dinâmico maior por conta da biodiversidade presente. Quanto ao efeito dos fatores externos no interior dos fragmentos, observa grande influência principalmente no microclima local. Mas também é notada a ação sobre os microrganismos do solo. Foi observada ação do gradiente de distância da borda para as variáveis microbiológicas e microclimáticas analisadas, para das florestas estacionais semidecíduais (FES). Já as florestas de eucalipto não responderam do mesmo modo que as florestas nativas, uma vez que as variáveis estudadas foram pouco afetadas pelo efeito de borda. A pesquisa mostra que quanto ao armazenamento de carbono no solo e ação da microbiota, os dois tipos de florestas respondem de modo distinto. Sendo que as FES armazenaram mais carbono e foram mais afetadas pela distancia da borda que o eucalipto, isto pode estar relacionado com a hominização do ambiente do eucalipto. Para tal é necessário a realização de mais pesquisas sobre o tema para melhor elucidar os resultados do presente estudo.

**Palavras-chave:** Florestas Estacionais, Carbono microbiano, matéria orgânica, Gradiente de distância da borda.

## ABSTRACT GERAL

To reduce global warming, it is necessary to search for strategies whose purpose is to mitigate the emissions of these gases and their absorption. Just as forests are carbon sinks, microbiota is also involved with carbon storage in the soil. However, as a result of anthropogenic activities, forests are often reduced to fragments, which are strongly subject to the edge effect, receiving much pressure from external factors affecting their functioning. Thus, the objective of the work was to evaluate changes in the organic and microbial carbon stock as well as the microclimate along the edge of six forest fragments. For the evaluation, studies were made in two different forest systems, being three fragments of semi-deciduous Cerrado seasonal forest and three of Eucalyptus spp. planted forests located in the southeast region of Goiás, Brazil. The experimental design of random blocks with subdivided plots, each forest being a different block, the transects representing the plots, and the subdivisions corresponding to the edge/interior distance gradients. Each fragment had three transects of 100 meters each, with ten plots forming a gradient of distance from the edge every 10 meters, the plots contain dimensions of 10 x 10 m. The soil and microbiological variables tested were: microbial biomass carbon (CBM), microbial respiration (RM), metabolic quotient ( $qCO_2$ ), total organic carbon, microbial quotient ( $qMIC$  %), soil organic matter (MO) and soil gravimetric humidity (Ug%). The microclimatic variables measured were: relative air humidity (%); temperature ( $^{\circ}C$ ), wind (km/h), light (lux). The effect of distances was tested by means of a regression. For correlation between all variables correlation was made and finally a principal component analysis (PCA). The two environments are significantly different, the FES are larger carbon sinks, as well as have a greater dynamic balance because of the biodiversity present. As for the effect of external factors inside the fragments, it observes great influence mainly on the local microclimate. But the action on soil microorganisms is also noted. The action of the distance gradient of the edge was observed for the microbiological and microclimatic variables analyzed, for semi-deciduous seasonal forests (FES). Eucalyptus forests, on the other hand, did not respond in the same way as native forests, since the variables studied were little affected by the edge effect. The survey shows that as for the carbon storage in the soil and the action of microbiota, the two types of forests respond differently. Since the FES stored more carbon and were more affected by the distance from the edge than the eucalyptus, this may be related to the hominization of the eucalyptus environment. To this end, it is necessary to conduct more research on the subject in order to better elucidate the results of this study.

**Keywords:** Seasonal Forests, Microbial carbon, organic matter, Edge distance gradient.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Para se dimensionar o balanço global de carbono (C) do ecossistema pode-se contabilizar a contribuição de cada processo envolvido na emissão (ou seja, a liberação de C) e resgate (absorção) do carbono (BRUNEL et al., 2020). Por exemplo, o estoque de carbono orgânico dos solos (COS), em escala global, extrapola na proporção de 4:1 em relação aos das vegetações (MELLO et al., 2015). As concentrações de carbono na atmosfera são duas vezes menores que nos solos, deste modo o equilíbrio entre as entradas e saídas de C do solo tem elevada influência sobre a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico (PRIMIERY et al., 2017).

Logo após a revolução industrial (século XVIII e XIX), as atividades antrópicas (agricultura, pecuária, indústrias entre outras) ocasionaram uma série de mudanças na paisagem terrestre e, ainda mais recentemente na atmosfera (ALVALÁ et al., 2017). Como a elevação das emissões de gases de efeito estufa (CEE), como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos, gases apontados no Protocolo de Quioto (ARRUDA, 2018). Uma das principais consequências deste aumento é o aquecimento global, trazendo a necessidade de procurar por estratégias cuja finalidade seja à mitigação das emissões desses gases, assim como a absorção deste da atmosfera (CARVALHO et al., 2010). O balanço de entrada e saída de C do solo, é dependente das quantidades adicionadas de C fotossintetizado pelas plantas (quanto é absorvido), e as perdas são devido a oxidação microbiana do C orgânico na forma de CO<sub>2</sub> atmosférico (COSTA et al., 2008).

A microbiota do solo se constitui em uma parte relevante dos circuitos bioquímicos e desempenha papel-chave no desenvolvimento e sustentação da estrutura e qualidade do solo (MAZZETTO et al., 2016). A respiração microbiana, por exemplo, indica funções importantes, como decomposição de restos vegetais e animais que estão sobre o solo, cumprindo um papel decisivo no ciclo global do carbono, uma vez que o solo contém o dobro de C do que a atmosfera (MOURA et al., 2015). A estimativa de C da biomassa microbiana é um formidável indicador de alterações na química do solo permitindo o monitoramento da relação entre química do solo e cobertura (LUNA et al., 2019). De tal modo que o C da biomassa microbiana pode agir como um apontador ambiental (LOURENTE et al., 2010).

As florestas, naturais ou plantadas, são necessárias não somente para o sequestro e fixação de C como também na devolução destes para o ecossistema (DENARDIN et al., 2014). Os plantios florestais auxiliam na redução das alterações climáticas, já que são capazes de armazenar carbono (C) em sua biomassa e produtos, e impedirem emissões decorrentes de

outros materiais com potencial de emitir mais gases de efeito estufa (GEE), sendo uma opção para amortecer os efeitos das variações do clima e da degradação do ambiente e dos solos (SANQUETTA et al., 2018). Deste modo, a comparação entre ciclagem de carbono e nutrientes de florestas plantadas com floresta natural permite detectar prováveis alterações advindas de técnicas de manejo empregadas, assim concluir sobre a sustentabilidade nos ambientes florestais (GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

As manchas de cobertura florestal com tamanhos reduzidos podem trazer efeitos negativos sobre o movimento das plantas via polinização e dispersão de matéria no sistema (MITCHELL et al., 2015). A fragmentação da paisagem atinge os organismos por meio de vários processos, como exemplo, isolamento. Deste modo, menor área livre para mudanças nas condições ambientais, podendo acarretar menos trocas genéticas, populações menos diversificadas, alterando a influência mútua entre espécies (IBANEZ et al., 2014).

O efeito de borda está associado a forma do fragmento, conexo a variações nas características físicas, químicas e biológicas analisadas no contorno dos fragmentos com a matriz circundante, estes tendem a se reduzir gradativamente na direção do seu interior, afetando o arranjo, estrutura e desempenho do ecossistema florestal em função da maior ou menor tolerância ambiental das espécies (LIMA et al., 2017). Quanto menor área fragmentada de floresta, maior é a extensão dos parâmetros microclimáticos no interior em consequência da maior proximidade com a borda, favorecendo a instalação e colonização de espécies pioneiras (LIMA-RIBEIRO, 2008).

As florestas nativas do Cerrado, Bioma composto por mais de 11.000 espécies de plantas nativas, das quais 4.400 são endêmicas, representa cerca de 1/3 da biota brasileira e 5% da flora mundial (BUENO et al., 2018), vêm sofrendo com o processo de expansão agrícola, e com a exploração direta da madeira (JUNIOR et al., 2020).

Algumas pesquisas estão sendo desenvolvidas sobre dinâmica e fragmentação florestal, consequências do efeito de borda para a vegetação e variáveis microclimática (MITCHELL et al., 2015; LIMA-RIBEIRO 2008; LIMA et al., 2017) mas não há estudos que liguem vegetação, microclima e carbono nos solos no Brasil Central. Além disso, os poucos estudos na maioria das vezes são abrangentes e genéricos e podem não atender as peculiaridades de cada região (SANTOS et al., 2017). Como há muitos remanescentes florestais de tamanhos pequenos presentes em Reservas Legais, essas áreas são excelentes objetos de estudo para avaliar mudanças do estoque de carbono ao longo da borda florestal.

## **CAPÍTULO I**

### **ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB ÁREAS EUCALIPTO E FLORESTAS ESTACIONAIS**

## 2. RESUMO

Florestas são capazes de sequestrar e estocar grandes quantidades de carbono na biomassa, e com o tempo o carbono vegetal pela ação dos microrganismos é incorporado ao solo. Cultivo de espécies florestais como eucalipto, são benéficos para incorporar C, mas estes são sistemas pouco diversos, se comparado a florestas nativas do Cerrado. Deste modo, qual é a relação dos dois diferentes sistemas quanto a dinâmica no ciclo do carbono pela ação da microbiota? Diante deste questionamento o objetivo do presente estudo foi identificar possíveis diferenças entre os principais indicadores funcionais da microbiota do solo entre sistemas nativos e implantados. O estudo foi conduzido em duas diferentes sistemas florestais, sendo três fragmentos de floresta estacional semidecidual (FES) do Cerrado e três fragmentos de florestas de *Eucalyptus* spp. localizadas na região sudeste de Goiás. Delimitação experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Em cada floresta foram avaliados tres transectos com 10 parcelas em cada um, cada parcela com dimensão de 10 x 10 m. Foram realizadas análises microbiológicas do solo, tais como o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana (RM), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), quociente microbiano ( $qMIC$ ) e de carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MO) e umidade gravimétrica do solo. Para testar o efeito da vegetação nativa e eucalipto das diferentes áreas nos atributos de solo estes foram comparados usando ANOVA pelo teste de Tukey, adotando o nível de 5% de probabilidade. Verificou-se também a correlação entre as variáveis analisadas, utilizando a análise de correlação de Pearson. Por fim, uma análise multivariada (Análise de componentes principais – PCA). Os resultados do teste t, demonstram que apenas  $qCO_2$  não diferiu estatisticamente entre FES e eucalipto, as demais variáveis apresentam as FES com os 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. O cultivo de florestas para fins comerciais é investimento vantajoso e até mesmo benéfico ecologicamente, contudo se o compararmos fragmentos de FES, principalmente quanto a atividade microbiana como um agente de emissão e sequestro de C, este apresenta maior atividade microbiológica e maior armazenamento de C.

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

### 3. ABSTRACT

Forests are able to sequester and store large amounts of carbon in the biomass, and with time the plant carbon by the action of microorganisms is incorporated into the soil. Cultivation of forest species such as eucalyptus are beneficial for incorporating C, but these are not very diverse systems compared to native Cerrado forests. Thus, what is the relationship between the two different systems on the dynamics of the carbon cycle by the action of microbiota? Faced with this questioning, the objective of the present study was to identify possible differences between the main functional indicators of soil microbiota between native and implanted systems. The study was conducted in two different forest systems, being three fragments of semideciduous seasonal forest (FES) of the Cerrado and three fragments of Eucalyptus spp. forests located in the southeast region of Goiás. Experimental design of random blocks with subdivided plots. In each forest three transects with 10 plots were evaluated, each plot with a size of 10 x 10 m. Microbiological analyses of the soil were carried out, such as microbial biomass carbon (CBM), microbial respiration (RM), metabolic quotient ( $qCO_2$ ), microbial quotient ( $qMIC$ ) and total organic carbon (TOC), organic matter (MO) and soil gravimetric humidity. To test the effect of native vegetation and eucalyptus of the different areas on soil attributes these were compared using ANOVA by the Tukey test, adopting the 5% probability level. The correlation between the analyzed variables was also verified using Pearson's correlation analysis. Finally, a multivariate analysis (Principal Component Analysis - PCA). The results of the t test, show that only  $qCO_2$  did not statistically differ between FES and eucalyptus, the other variables present FES with the highest values of microbial activity and incorporation of C in relation to eucalyptus. The same is proven in the analysis of variance and by the PCA, where the FES fragments were statistically different and higher than the three fragments of eucalyptus forests. The cultivation of forests for commercial purposes is an advantageous and even ecologically beneficial investment, however, if we compare FES fragments, especially as regards microbial activity as an agent for the emission and sequestration of C, it presents greater microbiological activity and greater storage of C.

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

## 4. INTRODUÇÃO

O carbono está diretamente relacionado ao aquecimento do planeta, pois é elemento constituinte dos gases de efeito estufa são eles: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), CFC (Cloro-flúor-Carbono), óxido nítrico, ozônio provocam o aumento da temperatura no planeta (CUNHA e 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 e SANTOS, 2018).

Com o cenário de ampliação e desenvolvimento florestal e na procura industrial de produtos florestais, o eucalipto destacou-se das outras espécies, e no Brasil devido as condições edafoclimáticas do país assim como os investimentos, o eucalipto apresenta 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 (IBÁ, 2019).

O cultivo de espécies florestais, com ciclo de vida longo, proporciona várias vantagens, como 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 e STRECK 2018). No ano de 2018, o estoque de CO<sub>2</sub> equivalente do segmento florestal somou 4,2 bilhões de toneladas, com 1,70 correspondente as plantadas e 2,49 das florestas nativas (IBÁ, 2019).

Os ecossistemas florestais são capazes de sequestrar e estocar carbono na biomassa, por exemplo, um hectare de floresta em desenvolvimento é capaz de absorver de 150 a 200 toneladas de carbono; estimasse que, em média, uma única arvore absorve 180 quilos de CO<sub>2</sub> (MORAIS et al., 2020). Assim como sobre o solo, é depositado restos materiais vegetais como folhas, ramos, cascas, órgãos reprodutivos, além animais que compões a serapilheira, que são parte do sistema de entrada (aporte de material orgânico) e saída (decomposição) (CARVALHO et al., 2017).

Estudos sobre a biomassa, carbono e nitrogênio da serapilheira em florestas plantadas e nativas, constataram, ao considerar as médias das duas estações do ano, maior aporte acumulado

de serapilheira total sobre solo no cultivo de eucalipto ( $13,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), seguido da floresta estacional semidecidual montana ( $6,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e do povoamento de *Pterogyne nitens* ( $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) (BARBOSA et al., 2017). As concentrações de  $\text{CO}_2$  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 (PRIMIERY et al., 2017).

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 (PRIMIERY 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 e 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 ( $q\text{CO}_2$ ) e quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ) (NETO et al., 2014). A RM consiste na liberação de C- $\text{CO}_2$  pelos microrganismos, nos seus processos metabólicos, CBM refere-se à imobilização temporária do elemento na biomassa viva do microrganismo (BRAGA et al., 2016). O  $q\text{CO}_2$  informa quanto de C é perdido por meio do efluxo de  $\text{CO}_2$  para incorporar uma unidade de C na biomassa microbiana e  $q\text{MIC}$  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 (PRIMIERY 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.

Outros 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 (PRIMIERY 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. Assim como a serrapilheira de baixa qualidade nutricional, 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.

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. Deste modo, o objetivo do presente estudo é identificar se há diferenças entre os principais indicadores de atividade da microbiota do solo ao compararmos florestas estacionais semidecíduais com florestas de eucaliptos.

Baseado nos principais resultados, as hipóteses iniciais são: I) a atividade microbiológica deve ser maior nas áreas nativas, II) florestas de eucalipto são ambiente mais estressantes aos microrganismos, por conta do maior trânsito que ocorre dentro do sistema devido aos tratos culturais que são realizados, assim o quociente microbiano tende a apresentar valores mais altos do que em floresta de nativas e III) haverá maiores teores de matéria orgânica na área nativa devido ao material que será depositado sobre o solo, sua quantidade e qualidade.

#### **4. 1. OBJETIVO**

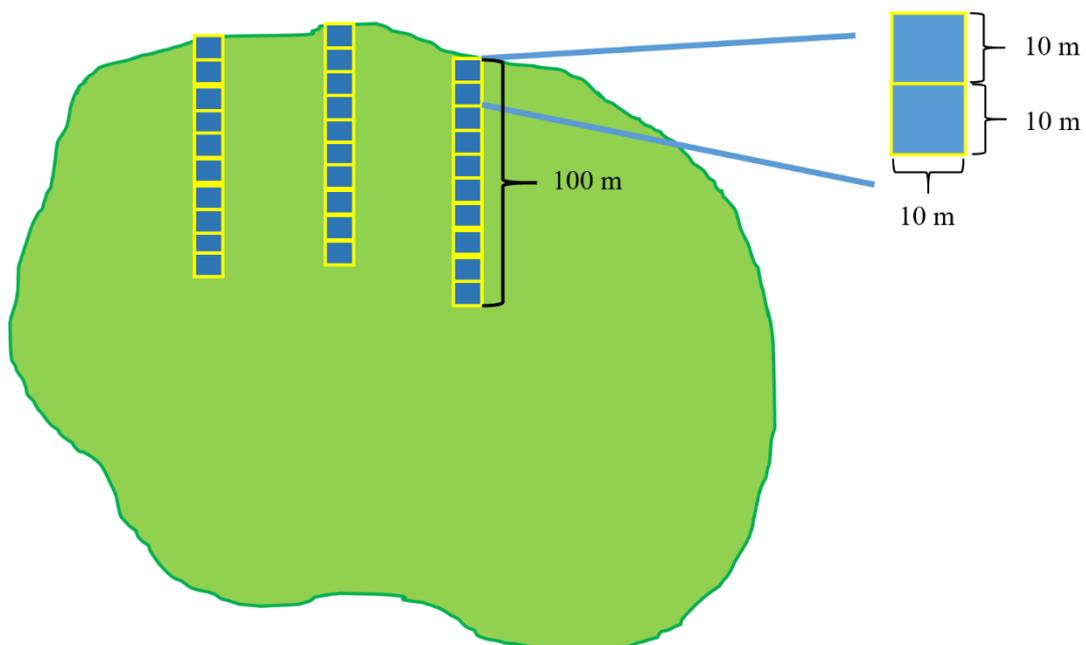
O presente estudo busca identificar se há diferenças entre os principais indicadores funcionais da microbiota do solo e carbono orgânico ao comparar florestas nativas com florestas plantadas de Eucalipto. Espera-se que os fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual do Cerrado apresentem maior de atividade microbológica em relação aos fragmentos de florestais de Eucalipto, uma vez que sistemas naturais possuem uma vegetação diversificada.

## 4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em dois diferentes sistemas florestais, sendo três fragmentos de floresta estacional semidecidual do Cerrado e três florestas plantadas de *Eucalyptus* spp. localizadas na região sudeste de Goiás. 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 priorizamos 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.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo cada floresta um bloco diferente, os transectos e parcelas as repetições. Em cada floresta foram avaliados três transectos com 10 parcelas em cada um, cada parcela com dimensão de 10 x 10 m (Figura 1). 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 e parcelas dentro de cada fragmento.

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 levadas 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 e 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 foi 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, após se realizou a filtração 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<sup>-1</sup> 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 mol L<sup>-1</sup>. Estes fechados hermeticamente e mantidos em local escuro por 4 dias, para a de titulação da base livre com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> que permitiu calcular, por subtração, a quantidade de C-CO<sub>2</sub> que combinará com o NaOH (ANDERSON e DOMSCH, 1993). A respiração do solo foi determinada em mg C-CO<sub>2</sub>. Kg<sup>-1</sup> de solo.dia<sup>-1</sup>.

#### **-Quociente metabólico $qCO_2$**

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi calculado pela razão entre a taxa de RM e o CBM, sendo expresso mg C-CO<sub>2</sub> mg Cmic<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (ANDERSON e 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 80mL 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:

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

em que:

TFSE= terra fina seca em estufa.

V= volume de bicromato de potássio empregado.

V<sub>a</sub>= 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<sub>MIC</sub>**

Determinação do quociente microbiano (q<sub>MIC</sub>) foi estimada pela razão CBM/ COT, expressa em %.

#### **-Matéria orgânica (MO)**

A MO existente na amostra foi calculada pela expressão:

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

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 formula:

$$\text{Ug}\% = \left[ \frac{\text{MSU} - \text{MSS}}{2} \right] * 100$$

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

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 se existe 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).

### 4.3. RESULTADOS

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 ( $qCO_2$ ), carbono orgânico total (COT), quociente microbiano ( $qMIC$ ), matéria orgânica (MO) e umidade gravimétrica do solo (Ug), de dois sistemas florestais no sudeste de Goiás.

Florestas				
Atributos analisados	FES	Eucalipto	t	p
RM (mg C-CO <sub>2</sub> . Kg <sup>-1</sup> de solo.dia <sup>-1</sup> )	17,41 (±3,49)a	9,53(±3,56) b	4,59**	0,00035
CBM (mg C. kg <sup>-1</sup> de solo)	568,84(±157,27)a	227,30(±55,59)b	6,11**	0,00002
$qCO_2$ (mg C-CO <sub>2</sub> . mg <sup>-1</sup> Cmic.dia <sup>-1</sup> )	0,07(±0,03)a	0,08(±0,04)a	0,47 <sup>ns</sup>	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 mg C-CO<sub>2</sub>. Kg<sup>-1</sup> de solo.dia<sup>-1</sup>) em relação ao Eucalipto (9,53 41 mg C-CO<sub>2</sub>. Kg<sup>-1</sup> de solo.dia<sup>-1</sup>) ( O CBM da área nativa apresenta média de 568,84 mg C.Kg<sup>-1</sup> de solo, mais do que o dobro que a incorporação da área plantada, cuja incorporação foi de 227,30 mg C.Kg<sup>-1</sup> de solo (Tabela 1).

Os teores de matéria orgânica seguem tendência da análise e COT, uma vez que a mesma é calculada com base nesses valores, sendo que as duas variáveis apresentaram maior aporte carbono (C), cerca de 76% superior na FES quando comparado ao Eucalipto. 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).

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 tres 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 <sup>ns</sup>	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) ( $mg\ C-CO_2\ Kg^{-1}\ de\ solo.dia^{-1}$ ), carbono da biomassa microbiana (CBM) ( $mg\ C\ kg^{-1}\ de\ solo$ ), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) ( $mg\ C-CO_2\ mg^{-1}\ Cmic.dia^{-1}$ ), carbono orgânico total ( $g/kg$ ) (COT), quociente microbiano (%) ( $qMIC$ ), matéria orgânica ( $g/kg$ ) (MO) e Umidade gravimétrica do solo (%) (Ug).

A análise demonstra que dentro de um mesmo sistema encontramos variação nas médias, mas com resultados semelhantes. 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).

Das 21 relações testadas, nove não se correlacionam. Os coeficientes de correlação relacionados com a atividade de liberação de C-CO<sub>2</sub> 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  $qCO_2$ , 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  $qCO_2$  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 sudeste de Goiás.

	RM	CBM	$qCO_2$	COT	$qMIC$	MO	UG
RM	—	0,83**	0,11 <sup>ns</sup>	0,87**	0,41 <sup>ns</sup>	0,87**	0,54*
CBM	—	—	-0,13 <sup>ns</sup>	0,85**	0,72**	0,85**	0,64**
$qCO_2$	—	—	—	0,21 <sup>ns</sup>	-0,54*	0,21 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
COT	—	—	—	—	0,32 <sup>ns</sup>	1,0**	0,61**
$Qmic$	—	—	—	—	—	0,32 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
MO	—	—	—	—	—	—	0,61**

Teste de correlação de Pearson. \*\* - significativo a 1%, \* - significativo a 5% e ns- não significativo. - Respiração microbiana (RM) ( $mg\ C-CO_2\ Kg^{-1}$  de solo.dia<sup>-1</sup>), carbono da biomassa microbiana (CBM) ( $mg\ C\ kg^{-1}$  de solo), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) ( $mg\ C-CO_2\ mg^{-1}\ Cmic.dia^{-1}$ ), 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.

Quando avaliamos 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 ( $r=0,73$ ), RM x COT ( $r=0,72$ ), RM x MO ( $r=0,72$ ), CBM x COT ( $r=0,72$ ), CBM x  $qMIC$  ( $r=0,71$ ), CBM x MO ( $r=0,72$ ) e COT x MO ( $r=1$ ) (Tabela 4). Enquanto a plantação de eucalipto apresentou correlação entre RM x  $qCO_2$  ( $r=0,67$ ), RM x COT assim como RM x MO ( $r=0,71$ ), RM x UG ( $r=0,88$ ),  $qCO_2$  x  $qMIC$  ( $r=-0,77$ ),  $qCO_2$  x UG ( $r=0,82$ ), MO x COT ( $r=1,0$ ) (Tabela 4).

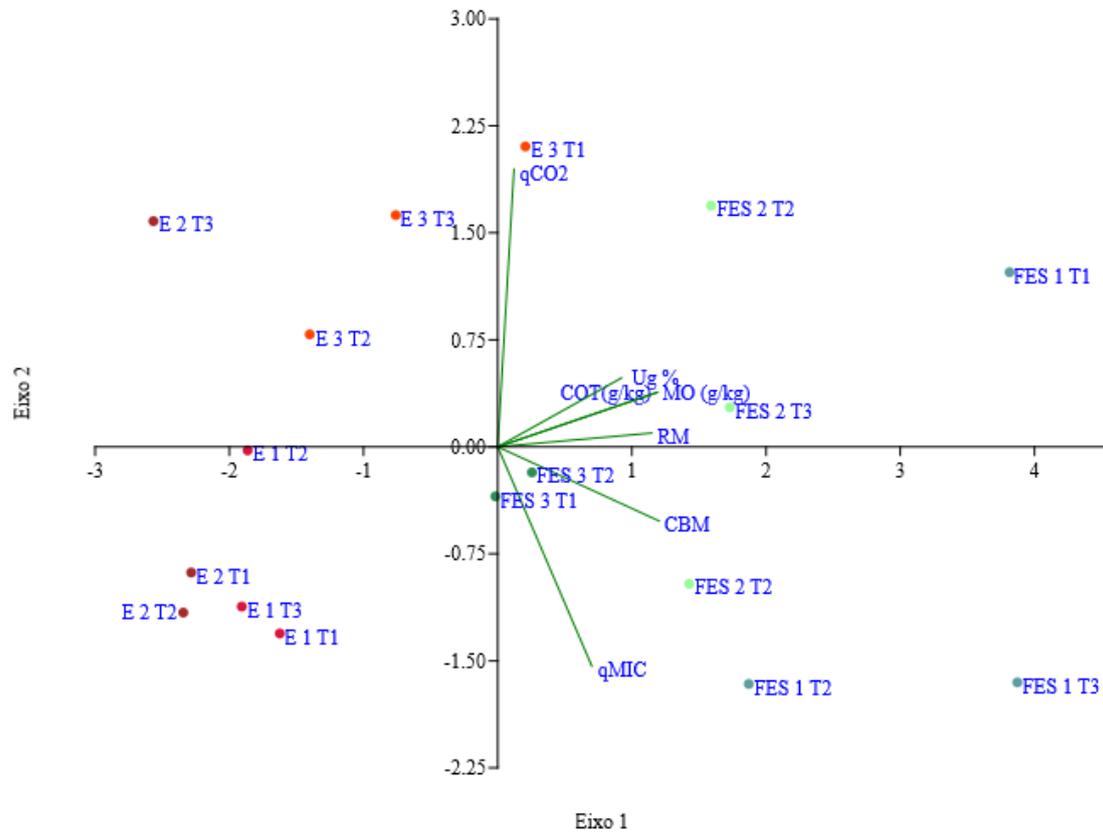
**Tabela 4:** Coeficiente de correlação (r) entre os parâmetros de solo estudados em fragmentos de três Florestas Estacionais Semidecíduais e três Florestas de Eucalipto no sudeste de Goiás.

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

Teste de correlação de Pearson. \*\* - significativo a 1%, \* - significativo a 5% e ns- não significativo. - Respiração microbiana (RM) (mg C-CO<sub>2</sub>. Kg<sup>-1</sup> de solo.dia<sup>-1</sup>), carbono da biomassa microbiana (CBM) (mg C. kg<sup>-1</sup> de solo), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (mg C-CO<sub>2</sub>. mg<sup>-1</sup> Cmic.dia<sup>-1</sup>), 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 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 Floresta 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) ( $\text{mg C} \cdot \text{kg}^{-1}$  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 (%) ( $U_g$ ).

#### 4.4. DISCUSSÃO

Em se tratando de atividade microbiana, 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 estão de acordo com os 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 mg C.g<sup>-1</sup> e 38 mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> solo dia<sup>-1</sup>, já para floresta de Eucalipto foram 227,30 mg C.g<sup>-1</sup> e 9,53 mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> solo dia<sup>-1</sup> respectivamente.

Segundo tabela de classe de interpretação dos indicadores microbiológicos do solo descrita por Lopes et al., (2013), que considera com nível adequado de CBM 405 µg.g<sup>-1</sup>, 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 podemos 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).

No presente estudo constatamos 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  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , para o eucalipto, 2,7  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , para a floresta nativa, e 0,6  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , 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 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 há 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).

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. Onde sugerimos uma hipótese, 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, um 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 separação em dois grupos distintos pela PCA, reafirma o que foi encontrado 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  $qCO_2$  foi o que mais favoreceu a formação do grupo dos fragmentos de Eucalipto. A redução das taxas de  $qCO_2$  estão associadas as melhorias na qualidade do solo, deste modo, o  $qCO_2$  está negativamente correlacionado com a qualidade do solo, conseqüentemente 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  $qCO_2$ , 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.

## 4.5. CONCLUSÕES

Em relação a hipótese I) foi demonstrado que a atividade microbiológica é maior nas florestas estacionais semidecíduais em relação às florestas de eucalipto. Em relação a hipótese II) os principais resultados demonstram que o quociente metabólico está ligado as florestas de Eucalipto demonstrando o maior estresse que se encontra no sistema. Já para hipótese III) demonstramos que os teores de carbono orgânico total e matéria orgânica são maiores nos fragmentos de FES em relação aos fragmentos de florestal de Eucalipto.

Em relação ao nosso objetivo conseguimos demonstrar que a microbiota age de forma distinta nos dois ambientes estudados, sendo que a atividade microbiológica e incorporação de carbono foi maior nas Florestas Estacionais Semidecíduais.

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.

Demonstra-se a importância da preservação das florestas nativas para a manutenção das características microbiológicas do solo e aumento na absorção/retenção de carbono. Além de serem 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.

#### 4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.
- BALDRIAN, P. Microbial activity and the dynamics of ecosystem processes in forest soils. **Current Opinion in Microbiology**, v. 37, p. 128–134, 2017.
- BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 301-309, 2015.
- BARBOSA, R. A.; BRAGA, G. B.; VALVERDE, S. R.; VILELA, K. F. V.; Queiroz, C. S., Souza, P. B.; Gonçalves, W. The evolution of planted forests from 1986 to 2017: the Brazilian case of Peçanha, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 72-84, 2020.
- BARBOSA, V. BARRETO-GARCIA, P.; GAMA-RODRIGUES, E.; PAULA, A. Biomassa, Carbono e Nitrogênio na Serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e201502243, p. 1-9, 2017.
- BARGALI, K.; MANRA, V.; PADALIA, K.; BARGALI, S. S.; UPADHYAY, V. P. Effect of vegetation type and season on microbial biomass carbon in Central Himalayan forest soils, India. **Catena**, v. 171, p. 125-135, 2018.
- BARRETO-GARCIA, P. A. B.; SCORIZA, R. N.; PAULA, A. Edge effect on chemical attributes of soil in a seasonal forest. **Revista Árvore**, v. 43, n. 1, p. 1-9, 2019.
- BRAGA, R. M.; SOUSA, F. F. D.; VENTURIN, N.; BRAGA, F. D. A. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **CERNE**, v. 22, n. 2, p. 137-144, 2016.
- CARVALHO, D. C.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; SIMON, C. A.; TOLEDO, L. O.; PICCOLO, M. C. Carbono, nitrogênio e abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  do Solo em Coberturas Florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e20150093, p. 1-10, 2017.
- CASTRO, S. P.; CLELAND, E. E.; WAGNER, R.; SAWAD, R. A.; LIPSON, D. A. Soil microbial responses to drought and exotic plants shift carbon metabolism. **The ISME Journal**, v. 13, p. 1776-1787, 2019.

- COSTA, A. A.; DIAS, B. O.; FRAGA, V. S.; SANTANA, C. C.; SAMPAIO, T. F.; SILVA, N. Physical fractionation of organic carbon in areas under different land uses in the Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 8, p. 534-540, 2020.
- COSTA, D. B.; STRECK, N. A. Duração da fase de mudas em eucalipto simulada em cenário de aumento de temperatura. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 1263-1270, 2018.
- CUNHA, R. G.; RODRIGUES, M. A. Promovendo a alfabetização científica através de oficinas pedagógicas sobre atmosfera, efeito estufa e aquecimento global. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, 308-329, 2019.
- DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. D. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.
- DINIZ, A. R.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. C.; SILVA, E. V.; SANTOS, F. M. Microbial Biomass and Enzyme Activity of Soil Under Clonal Rubber Tree Plantations. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 3, p. 1-9, 2020.
- ESAKI, K.; ICHINOSE, Y.; YAMADA, S. Statistical Analysis of Process Monitoring Data for Software Process Improvement and Its Application. **American Journal of Operations Research**, v. 2, n. 1, 2012.
- FU, D.; WU, X.; QIU, Q.; DUAN, C.; JONES, D. L. Seasonal variations in soil microbial communities under different land restoration types in a subtropical mountains region, Southwest China. **Applied Soil Ecology**, v. 153, p. 1-5, 2020.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Version 3.12. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, 1999-2016.
- Industria Brasileira de Árvores – IBÁ. **Relatório 2019**. Brasília, p. 79, 2019.
- JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N. T.; SANTOS, F. A. C. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, p. 126-151, 2018.
- LAL, R. Forest soils and carbono sequestration. **Forest Ecology and Management**, v. 2020, p. 242-258, 2005.
- LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; JUNIOR, F. B. R.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 461-472, 2013.
- MENDONÇA E. S.; MATOS E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa: UFV, p. 107, 2005.
- MIRANDA, F. S. M.; AVELAR, A. S. Dinâmica de carbono orgânico dissolvido em ecossistemas florestais: uma revisão sobre a lixiviação pela chuva. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 07, p. 2351-2374, 2018.

MORAIS, E. O.; RIBEIRO, K. L.; VELOSO, R. B.; VELOSO, M. D. M. Aplicação de modelos de regressão linear e não linear para estimativa de volume de biomassa e estoque de carbono. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 45621-45632, 2020.

NETO, S. E. A.; SILVA, A. N.; KUSDRA, J. F.; KOLLN, F. T.; NETO, R. C. A. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 650-658, 2014.

PRADO, E. P.; CASTRO, M. T. Diversidade de insetos em áreas de produção de hortaliças próximas a um sistema agroflorestal no distrito federal. **Biodiversidade**, v. 16, n. 2, p. 76-28, 2017.

SIEFERT, C. A. C.; SANTOS, I. Dinâmica do carbono orgânico e processos hidrológicos na escala da bacia hidrográfica: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, p. 3-16, 2018.

SILVA, D. C.; PEREIRA, J. M.; ORTIZ, D. C.; FILHO, L. C. I. O.; PINTO, L. V. A. Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14795-14816, 2020.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

WINK, C.; REINERT, D. J.; MULLER, I.; REICHERT, J. M.; JACOMET, L. A idade das plantações de *Eucalyptus* sp. influenciando os estoques de carbono. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 333-343, 2013.

## **CAPÍTULO II**

### **EFEITO DO GRADIENTE BORDA/INTERIOR NA MICROBIOTA DO SOLO E MICROCLIMA LOCAL EM FRAGMENTOS DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E PLATAÇÕES DE EUCALIPTO**

## 5. RESUMO

As florestas constituem um importante sumidouro de carbono (C), contudo estas são cada dia mais fragmentadas por conta da sua exploração. Com a fragmentação, o ambiente externo causa efeitos sobre as características internas dessas florestas. A microbiota, como um dos principais responsáveis pela formação do solo, é forte indicador de alteração no mesmo. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo analisar as alterações na atividade microbiana do solo, assim como avaliar as mudanças no microclima local ao longo de um gradiente de borda-interior em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e florestas de Eucalipto. O trabalho foi desenvolvido em fragmentos de dois tipos de florestas, sendo elas três fragmentos de floresta estacional semidecidual (FES) do Cerrado e três florestas plantadas de Eucalipto localizadas na região sudeste de Goiás. Cada fragmento contou com três transectos, com dez parcelas de 10 x 10 m formando um gradiente de distância da borda a cada 10 metros. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, onde cada fragmento é referente a um bloco, os transectos são as parcelas e o gradiente de distância as subdivisões. Foram realizadas análises microbiológicas e determinação do carbono orgânico total (COT) nas amostras de solo. As variáveis de solo e microbiológicas testadas foram: carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana (RM), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), carbono orgânico total, quociente microbiano ( $qMIC$  %), matéria orgânica (MO) do solo e umidade gravimétrica do solo ( $Ug\%$ ). As variáveis microclimáticas aferidas foram: umidade relativa do ar (%); temperatura ( $^{\circ}C$ ), vento (km/h), luz (luz lux). Testou-se o efeito do gradiente de distância, por meio da regressão linear. A fim de verificar a influência dos fatores entre si, realizou-se correlação de Spearman. Os fatores microclimáticos foram os que mais responderam ao gradiente de distância borda/interior para os fragmentos de FES. Já as variáveis microbiológicas e carbono foram menos afetadas, contudo também responderam, apresentando a formação de dois grupos distintos, borda de 10–50 m e interior de 60-100 m. A formação do grupo borda sendo favorecida pelas variáveis climáticas e grupo interior pelo COT e MO assim como RM. Para os fragmentos de florestas de Eucalipto não obtivesse resposta ao gradiente borda/interior.

**Palavras-chave:** Velocidade do vento, Armazenamento de C, Efeito de borda, Respiração microbiana.

## 6. ABSTRACT

Forests constitute an important carbon sink (C), however they are more and more fragmented because of their exploitation. With the fragmentation, the external environment causes effects on the internal characteristics of these forests. Microbiota, as one of the main responsible for soil formation, is a strong indicator of soil change. Thus, this work aims to analyze changes in the microbial activity of the soil, as well as to evaluate changes in the local microclimate along an edge-interior gradient in fragments of Semideciduous Seasonal Forest (FES) and Eucalyptus forests. The work was carried out in fragments of two types of forests, being three fragments of semi-deciduous seasonal forest (FES) of the Cerrado and three planted Eucalyptus forests located in the southeast region of Goiás. Each fragment had three transects, with ten plots of 10 x 10 m forming a gradient of distance from the edge every 10 meters. The experimental design was that of random blocks with subdivided plots, where each fragment refers to a block, the transects are the plots and the distance gradient the subdivisions. Microbiological analysis and determination of total organic carbon (TOC) in soil samples were performed. The soil and microbiological variables tested were: microbial biomass carbon (CBM), microbial respiration (RM), metabolic quotient ( $qCO_2$ ), total organic carbon, microbial quotient ( $qMIC$  %), soil organic matter (MO) and soil gravimetric humidity ( $Ug\%$ ). The microclimatic variables measured were: relative air humidity (%); temperature ( $^{\circ}C$ ), wind (km/h), light (lux light). The effect of the distance gradient was tested by means of linear regression. In order to verify the influence of factors among themselves, Spearman's correlation was performed. The microclimatic factors were the ones that most responded to the edge/interior distance gradient for the FES fragments. Microclimate and carbon variables were less affected, but also responded, presenting the formation of two distinct groups, edge of 10-50 m and interior of 60-100 m. The formation of the edge group being favored by the climatic variables and inner group by the TOC and MO as well as RM. For the fragments of Eucalyptus forests they did not obtain a response to the edge/interior gradient.

**Keywords:** Wind velocity, C storage, Edge effect, Microbial respiration.

## 7. INTRODUÇÃO

As emissões de CO<sub>2</sub> devido a queima combustíveis fósseis globalmente entre 2004-2013, foram de  $8,9 \pm 0,4$  GtC.ano<sup>-1</sup>/ano<sup>-1</sup>, as emissões relacionadas às transformações do uso da terra, principalmente o desmatamento, conceberam  $0,9 \pm 0,5$  GtC/ano<sup>-1</sup>, representando cerca de 10% das emissões globais de gás carbônico (NOBRE e MARENGO, 2017). Os gases são indicadores mensuráveis de como as mudanças na dinâmica dos ecossistemas irão alterar o ciclo de nutrientes e o funcionamento dos ecossistemas (TOCZYDLOWSKI et al., 2020).

A partir do século XVII, com a expansão pecuária e agricultura, as florestas foram oprimidas através do desmatamento, acarretando distúrbios na paisagem e submetendo os fragmentos a grande pressão dos fatores circuncidastes (PSCHEIDT et al., 2018). O efeito de borda é resposta a pressão resultante, sendo sua intensidade inversamente proporcional ao tamanho, ou seja, quanto menor o fragmento, maior o efeito de borda que este é submetido (NOVAIS et al., 2016). A intensificação da ação dos fatores climáticos, como aumento da entrada de vento, redução da umidade, maior radiação solar, acarretam mudanças entre as interações ecológicas dentro do micro-habitat (FERREIRA et al., 2016).

A modificação das condições de umidade, temperatura, vento e radiação solar desestabilizam o equilíbrio do ecossistema, sendo este comprometido pelo processo de fragmentação florestal, que reduz o tamanho da área florestal (SANTOS et al., 2017). Sendo que em fragmentos menores a razão borda/área de um fragmento é maior, conseqüentemente estão mais sujeitas as condições microclimáticas locais, uma vez que as bordas apresentam, maior incidência luminosa, temperaturas mais altas e ventos mais fortes em comparação com seu interior (MENDONÇA e VOLTOLINI 2019). Investigações sobre efeito que a borda tem no solo, representa uma ferramenta para avaliar as interferências naturais ou antrópicas nos fragmentos florestais, assim como traçar estratégias de monitorização da conservação, todavia estudos relacionados são escassos no Brasil (BARRETO-GARCIA et al., 2019).

As mudanças climáticas ocorridas, devido ação desenfreada do ser humano, alteram os padrões de temperatura e a distribuição temporal e espacial de chuva no planeta, em consequência exerce efeito indireto e diretos, sobre a biodiversidade, estrutura, funções e processos dos ecossistemas (BUSTAMANTE et al., 2017). Padrões climáticos e constituição vegetal, como quantidade e qualidade de serapilheira depositada em determinado ecossistema, pode favorecer ou não sua degradação, sendo o material orgânico depositado ao solo

indispensável para a manutenção e o equilíbrio de qualquer bioma florestal (BARBOSA et al., 2017).

O comércio florestal vem ganhando destaque e apresentou saldo comercial recorde de US\$ 11,4 bilhões, em consequência do aumento das vendas de celulose no mercado mundial, tornando o líder na exportação desse produto (IBÁ 2019). O Eucalipto oferecer uma vasta gama de serviços sociais, ambientais e benefícios económicos para milhões de pessoas, pois é destinado a vários fins (BEHERA et al., 2020). Utilizado nas indústrias siderurgia e mobiliário que necessita de madeira como matéria-prima, também uso de sua polpa para celulose e papel (BARBOSA et al., 2020), além de folhas para produção de extrato.

Ao ponderarmos sobre os estoques de carbono, no compartimento terrestre, incluso solo, biota e atmosfera, cerca de 2.500 Gt se encontra disponíveis no solo, e aproximadamente 1.550 Gt são advindos da matéria orgânica (SIEFERT e SANTOS, 2018). De acordo com Lal 2005, o ambiente em estado de equilíbrio, os valores de C do estoque da atmosfera se encontram tres vezes inferior ao valor de C de MO do solo. Em se tratando de biota vegetal, as florestas tropicais armazenam proporções diferentes de carbono quando se compara com florestas boreais (de clima frio), sendo que a vegetação das florestas tropicais armazena 56% de carbono na biomassa vegetal e 32% no solo, enquanto a proporção nas florestas boreais e de 20% biomassa e 60% solo (PAN et al., 2011).

O C estocado pela vegetação varia muito, assim como sua contribuição para o ecossistema, estes dependem fortemente das espécies presentes e da idade (ZHANG et al., 2020). Ao avaliar a qualidade e quantidade, em termos de captura de C em épocas com perturbações climáticas como seca, as florestas naturais como agentes de sequestro de C terrestre são superiores e insubstituíveis pelas plantações (OSURI et al., 2020). É necessário a preservação dos fragmentos florestais remanescentes, assim como a ampliação de suas conectividades, possibilitando que as funções ecológicas sejam cumpridas adequadamente, propiciando o fluxo de espécies (LIMA et al., 2020).

A espessura da camada de material depositado sobre o solo, assim como umidade e temperatura do solo, influencia na decomposição. Se o clima se tornar mais quente, consequentemente ocorrerá um aumento da temperatura do solo, se isso ocorre a maior atividade biológica, por conseguinte redução das reservas de C, por meio da atividade metabólica microbiana (FEKETE et al., 2016).

A microbiota do solo é um dos principais responsáveis pela formação do solo sendo o motor dos ciclos biogeoquímicos, deste modo é crucial compreender os efeitos dos diferentes fatores do ambiente sobre os microrganismos (FU et al., 2020). Fatores característicos do ambiente tais como pH, matéria orgânica umidade, temperatura, assim como a presença de

cargas doadoras e receptoras de elétrons para que complete reações de oxidação-redução metabólica em condições aeróbias e anaeróbias (TOCZYDLOWSKI et al., 2020). A composição florística dos ecossistemas e as características funcionais das plantas, também são responsáveis por suas atividades metabólicas (ALVAREZ et al., 2020).

A partir das informações apontadas, o presente trabalho tem como objetivo analisar as alterações na atividade microbiana do solo, assim como avaliar as mudanças no microclima local ao longo de um gradiente de borda-interior em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual e florestas de Eucalipto, a fim de responder às seguintes questões: (I) Haverá diferenças na incorporação de carbono microbiano e carbono orgânico total ao longo do gradiente borda-interior, (II) Há variação dos fatores microclimáticos entre borda e interior? (III) Como é que o microclima influencia na microbiologia do solo destes ambientes?

## **7. 1. OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo analisar as alterações na atividade microbiana do solo, assim como avaliar as mudanças no microclima local ao longo de um gradiente de borda-interior em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual e florestas de Eucalipto. Espera-se que as áreas de fragmentos de florestas nativas apresentem distinção entre borda e interior, enquanto as de Eucaliptos não apresentem resposta uma vez que são homogêneas.

## 7. 2. METATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em fragmentos de dois tipos de florestas diferentes, sendo tres fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e três florestas plantadas de Eucalipto localizadas na região sudeste de Goiás. O clima e classificado como AW – Tropical, caracterizando com clima subtropical, sendo sua estação seca no inverno, precipitação média anual de 1531 mm, estação chuvosa concentrada sobretudo entre os meses de dezembro e março, já entre junho e julho as precipitações são escassas, temperaturas médias variando de 18°C (inverno) e 30°C (verão) e média anual de 23°C (ALVARES et al., 2013).

A escolha dos fragmentos de FES baseou-se principalmente no seu formato, dando prioridade aos de forma mais circular possível para reduzir o viés da influência do formato do fragmento. Para determinação das áreas de Eucalipto (*Eucalyptus* spp.), a característica priorizada foi a idade, sendo superior a sete anos, por conferir um porte florestal ao povoamento, para que o material depositado fosse parecido com as áreas de FES escolhidas.

Cada fragmento contou com três transectos, estes com dez parcelas formando o gradiente de distancias da borda (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 m) cada, as parcelas contêm dimensão de 10 x 10 m (Figura 2). Delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas escolhido para a análise estatística, onde cada fragmento e referente a um bloco, os transectos são as parcelas e o gradiente de distância as subdivisões. A coleta do solo foi realizada entre os meses de janeiro e março (estação chuvosa). Foram coletados em cada gradiente de distância tres amostras simples de solo com 15 cm de profundidade, para compor uma amostra composta.

O solo coletado e identificado foi levado ao Laboratório de Biologia do Solo, da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri- GO, para realização das análises microbiológicas e determinação do carbono orgânico total (COT). O procedimento para início das análises consiste em peneirar as amostras em peneiras com 2 mm de malha, para separação do material orgânico trazido como folhas, raízes e também da parte e macrofauna e mesofauna, pois o estudo está relacionado aos microrganismos do solo.

Avaliação da microbiota - Os métodos utilizados para determinação das variáveis microbiológicas são:

Método da irradiação-extração para quantificação do carbono da biomassa microbiana (CBM) (MENDONÇA e MATOS, 2005). Técnica por meio da energia eletromagnética (micro-ondas), acarreta o rompimento celular e extravasamento compostos intracelulares. Para tal foram necessários pesar 20g de solo já peneirado, 10g levado ao micro-ondas para a irradiação,

com tempo de predeterminado, os outros 10g aguardaram para próxima etapa, onde nesta consistiu em extração com sulfato de potássio. A fase posterior contou com a filtragem com auxílio de papel filtro para retirada do sobrenadante do extrato, após a filtragem foram pipetados 8 mL do extrato em tubo de ensaio, acrescidos mais 2 mL de dicromato de potássio, 5 mL de ácido orto-forfórico e 10 mL de ácido sulfúrico. Em seguida efetuou-se a digestão das amostras em bloco digestor, com temperatura de 100°C por 30 minutos. Após digestão redução da temperatura realizou a titulação (com solução de sulfato ferroso amoniacal), acrescentando 40 mL de água deionizada o conteúdo do tubo, vertendo este com um erlenmeyer com mais 4 gotas do indicador (difenilamina). O valor de CBM e dado pela diferença do carbono nas amostras irradiadas e não irradiadas e expresso em mg C. kg<sup>-1</sup> de solo.

Respirometria, que é método para determinar a liberação de C-CO<sub>2</sub> pela respiração microbiana (RM). Neste processo foram pesados 100 g de solo de cada amostra, estas colocadas em frascos de vidro, com tampa de rosca, em seu centro depositou um frasco com 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Após fechamento foram vedados com papel filme, e mantidos em local escuro por tempo analisado conforme a atividade. A titulação após incubação foi feita com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> (ANDERSON e DOMSCH, 1993). Determinada dada em mg C-CO<sub>2</sub>. Kg<sup>-1</sup> de solo.dia<sup>-1</sup>. O quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>) foi obtido ao aplicarmos razão entre a taxa de RM e o CBM, expresso mg C-CO<sub>2</sub> mg Cmic<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (ANDERSON e DOMSCH, 1993).

Método volumétrico com dicromato de potássio, foi empregado para quantificação do carbono orgânico total (COT), metodologia baseada em estudo de Walker-Black (SILVA et al. 2009). O procedimento é simples, primeiramente pesou 0,5g de TFSA (terra fina seca ao ar), juntamente com o solo foi adicionado 10 mL de solução de bicromato de potássio em erlenmeyer de 250 ml, estes aquecidos até fervura branda em placa elétrica, em seguida após esfriar realizou a determinação com sulfato ferroso amoniacal, para tal foi acrescido 80mL de água deionizada, 1 mL de ácido ortofosfórico e 3 gotas de difenilamina (indicador). Os valores de COT foi obtido com base na diferença entre o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do restante de dicromato e da prova em branco. Sendo COT expresso em g/kg.

A razão CBM/ COT estima o quociente microbiano (*q*MIC %). A matéria orgânica (MO) do solo e determinado por meio da seguinte expressão:

$$\mathbf{g\ de\ \frac{MO}{kg} = \frac{g}{kg}\ de\ COT * 1,724}$$

1,724 valor padrão utilizado como fator que admite que carbono tem participação de 58% na composição da MO.

Umidade gravimétrica do solo (Ug%), foi calculada por meio da pesagem de 10g de solo, obtendo a massa de solo úmido (MSU), essa amostra foi levada a estufa a temperatura de

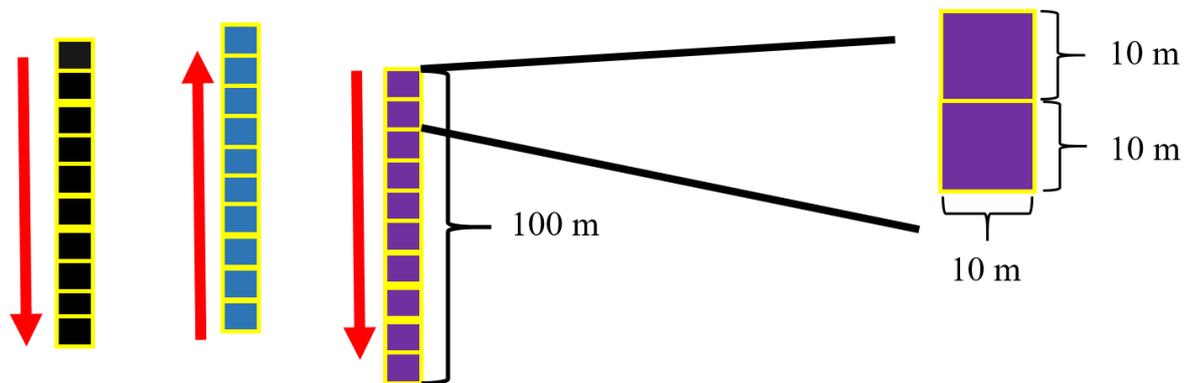
120°C por 72 horas, valore da massa de solo seco (MSS). A partir dos dois valores se faz o cálculo pela formula:

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

MSU= massa de solo úmido.

MSS= massa de solo seco.

Avaliação microclimática - As avaliações do microclima local foram realizadas por meio do aparelho termo higroanemômetro luxímetro digital - LM8000, nos seguintes horários: 10:00, 13:00 e 16:00 horas (foi feita a média dos horários para realização das análises estatísticas). As variáveis microclimáticas aferidas foram: umidade relativa do ar (%); temperatura (°C), vento (km/h), luz (lux). Foram coletados em cada gradiente de distância, três pontos de aferição, estes sempre o mais próximo possível dos pontos de coleta de solo. Para evitar viés em relação as medições sentido borda x interior, no momento das aferições percorreu-se os transectos em forma de zig-zag, ou seja, o primeiro se iniciou no sentido borda-interior, o segundo já vinha no sentido contrário, do interior-borda, assim para todas os fragmentos estudados e horários avaliados (Figura 1).



**Figura 1:** Disposição e tamanho dos transectos e parcelas dentro de cada fragmento.

Para as variáveis estudadas realizou o teste de normalidade Shapiro-Wilk W. Como não atendeu a normalidade foram realizados testes não paramétricos conforme a necessidade. Primeiramente foi realizada uma triagem dos dados, para retirada dos dados discrepantes, em seguida foi feita a média dos dois tipos florestais estudados em separado, sendo elas organizadas pelo gradiente de distância. O primeiro teste realizado foi regressão linear, sendo este empregado para todas as variáveis analisadas e para os dois tipos de floresta em separado utilizando a distância para a borda como variável independente. Para verificar a influência dos fatores microclimáticos sobre os fatores de solo, realizou-se correlação não paramétrica de Spearman, novamente utilizando a média dos dois tipos de área separadamente, do mesmo

modo fez o teste para a correlação entre os fatores microclimáticos separadamente. Para melhor entender os fatores estudados, foi feita ao final uma análise multivariada (Análise de componentes principais – PCA) para cada tipo florestal, para visualizar quais foram as variáveis que melhor os caracterizam. As análises estatísticas iniciais foram realizadas com o auxílio do software estatístico PAST (HAMMER et al. 1999-2016).

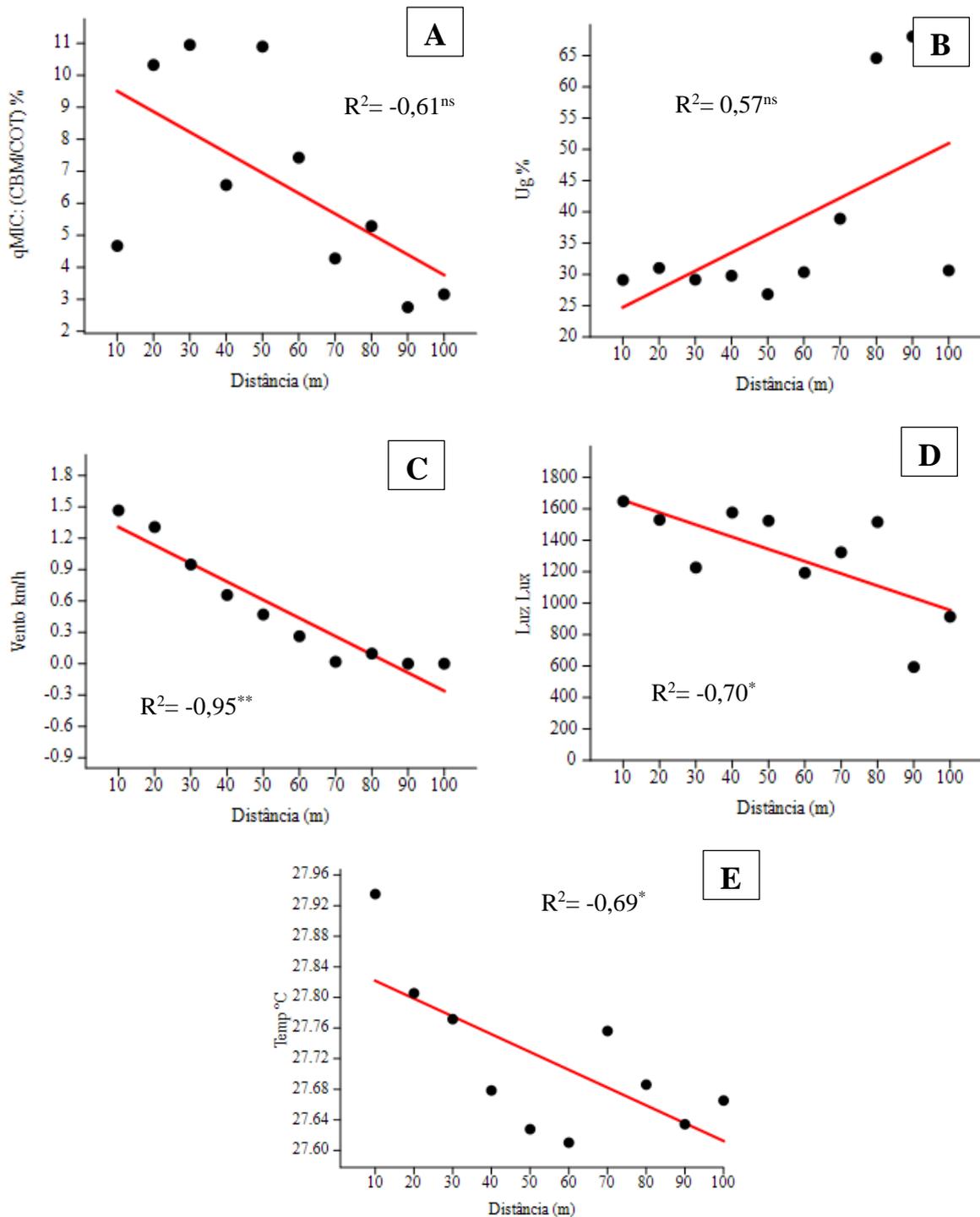
### 7. 3. RESULTADOS

A variável respiração microbiana (RM) apresentou relação com o distanciamento da borda para fragmentos de floresta de Eucalipto, já para fragmentos de Florestas Estacionais Semidecíduais as variáveis quociente microbiano ( $qMIC$ ) e umidade gravimétrica (UG) foram as afetadas pelo gradiente de distância. As respostas quanto o efeito do gradiente de distância para as variáveis microbiológicas e microclimáticas são apresentados a seguir com os valores dos coeficientes de determinação (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores dos coeficientes de determinação e valores de probabilidade de regressão linear simples 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), Vento (Km/h), Luz (lux), T°C (Temperatura do ar °C), Umid. (Umidade do ar %) em dois tipos de florestas no sudeste Goiás.

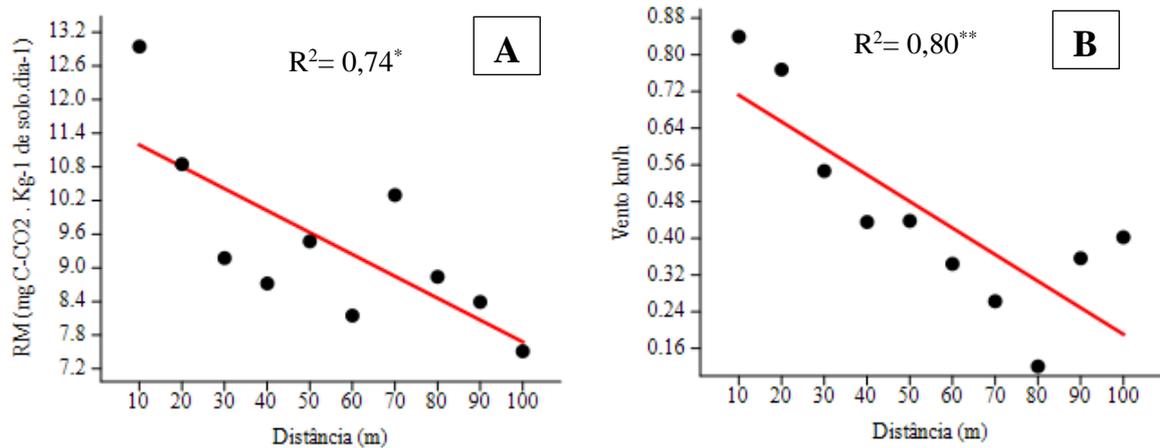
Variáveis analisados	Florestas			
	FES		Eucalipto	
	R <sup>2</sup>	p	R <sup>2</sup>	p
RM (mg C-CO <sub>2</sub> . Kg <sup>-1</sup> de solo.dia <sup>-1</sup> )	0,46	0,179	-0,74	<b>0,012</b>
CBM (mg C. kg <sup>-1</sup> de solo)	-0,53	0,112	-0,26	0,467
COT (g/Kg)	0,41	0,238	-0,41	0,233
MO (g/Kg)	0,41	0,238	-0,41	0,233
$qCO_2$ (mg C-CO <sub>2</sub> . mg <sup>-1</sup> Cmic.dia <sup>-1</sup> )	0,12	0,731	-0,47	0,165
$qMIC$ (%)	-0,61	<b>0,059</b>	0,03	0,928
UG (%)	0,57	<b>0,082</b>	0,41	0,232
Vento (Km/h)	-0,95	<b>213E-05</b>	-0,80	<b>0,005</b>
Luz (lux)	-0,70	<b>0,024</b>	0,51	0,130
Temperatura (°C)	-0,69	<b>0,024</b>	-0,46	0,178
Umidade do ar (%)	-0,16	0,652	-0,23	0,508

As variáveis microclimáticas foram as que mais sofreram alteração de acordo com o gradiente de distância na FES, somente umidade do ar não apresentou variação confirmada estatisticamente. Para o eucalipto apenas vento apresentou significância quanto as distâncias da borda (Tabela 1). Como pode ser observado na Figura 1 (A, B e D) com o adentrar dos fragmentos de FES, a redução do  $qMIC$  ( $R^2 = -0,61^{ns}$ ), velocidade do vento ( $R^2 = -0,95^{**}$ ), intensidade luminosa ( $R^2 = -0,70^*$ ) e temperatura (°C) ( $R^2 = -0,69^*$ ). Já para o percentual de umidade do solo ( $R^2 = 0,57^{ns}$ ) é notado um aumento com o distanciamento da borda (Figura 1 B e E).



**Figura 1:** Regressão linear das variáveis de solo e microclima dos fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual do sudeste de Goiás. Quociente microbiano (qMIC) (A), e Umidade gravimétrica do solo (Ug) (B), Vento (Km/h) (C), Luz (lux) (D) e Temperatura (E).

Respiração microbiana apresenta uma regressão linear negativa ( $R^2 = -0,74^*$ ), com o aumento da distância da borda nos fragmentos de eucalipto (Figura 2 A) Assim como velocidade do vento (km/h) ( $R^2 = -0,80^{**}$ ) reduz com aumento do gradiente de distância (Figura 2 B).



**Figura 2:** Regressão linear das variáveis de solo e microclima dos fragmentos de floresta Eucalipto do sudeste de Goiás. Respiração microbiana (RM) (A) e Umidade gravimétrica Vento (Km/h) (B).

Quando relacionamos os resultados das médias das variáveis microclimáticas com os dados microbiológicos para FES, observamos correlação positiva entre velocidade do vento e  $qMIC$  ( $r=0,65^*$ ). E também correlação negativa entre vento – Ug ( $r= -0,63^*$ ). Já para eucalipto nota-se correlação positiva entre T°C – RM ( $r= -0,76^{**}$ ), e correlação negativa entre Luz –  $qMIC$  ( $r= -0,68^*$ ).

**Tabela 3:** Correlação de Spearman entre as variáveis de solo e variáveis microclimáticas estudadas para FES e floresta de eucalipto (EUCA).

		RM	CBM	COT	MO	$qCO_2$	$qMIC$	Ug
<b>F</b>	<b>Vento</b>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	-0,41 <sup>ns</sup>	-0,41 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>*</sup>	-0,63 <sup>*</sup>
<b>E</b>	<b>Luz</b>	-0,12 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	-0,49 <sup>ns</sup>
<b>S</b>	<b>T°C</b>	0,39 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>
	<b>Umid.</b>	0,21 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>
<b>E</b>	<b>Vento</b>	0,5 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>
<b>U</b>	<b>Luz</b>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,68 <sup>*</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
<b>C</b>	<b>T°C</b>	0,76 <sup>**</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	-0,45 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>
<b>A.</b>	<b>Umid.</b>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>

Teste de correlação de Spearman. \*\* - significativo a 1%, \* - significativo a 5% e ns- não significativo. - Respiração microbiana (RM) (mg C-CO<sub>2</sub> . Kg<sup>-1</sup> de solo.dia<sup>-1</sup>), carbono da biomassa microbiana (CBM) (mg C. kg<sup>-1</sup> de solo), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (mg C-CO<sub>2</sub> . mg<sup>-1</sup> Cmic.dia<sup>-1</sup>), carbono orgânico total (g/kg) (COT), quociente microbiano (%) ( $qMIC$ ), matéria orgânica (g/kg) (MO), Umidade gravimétrica do solo (%) (Ug), Vento (Km/h), Luz (lux), T°C (Temperatura do ar °C), Umid. (Umidade do ar %). Para a análise foram utilizados os valores provenientes das médias das distâncias dos três fragmentos de florestas nativas e das 3 áreas de eucalipto.

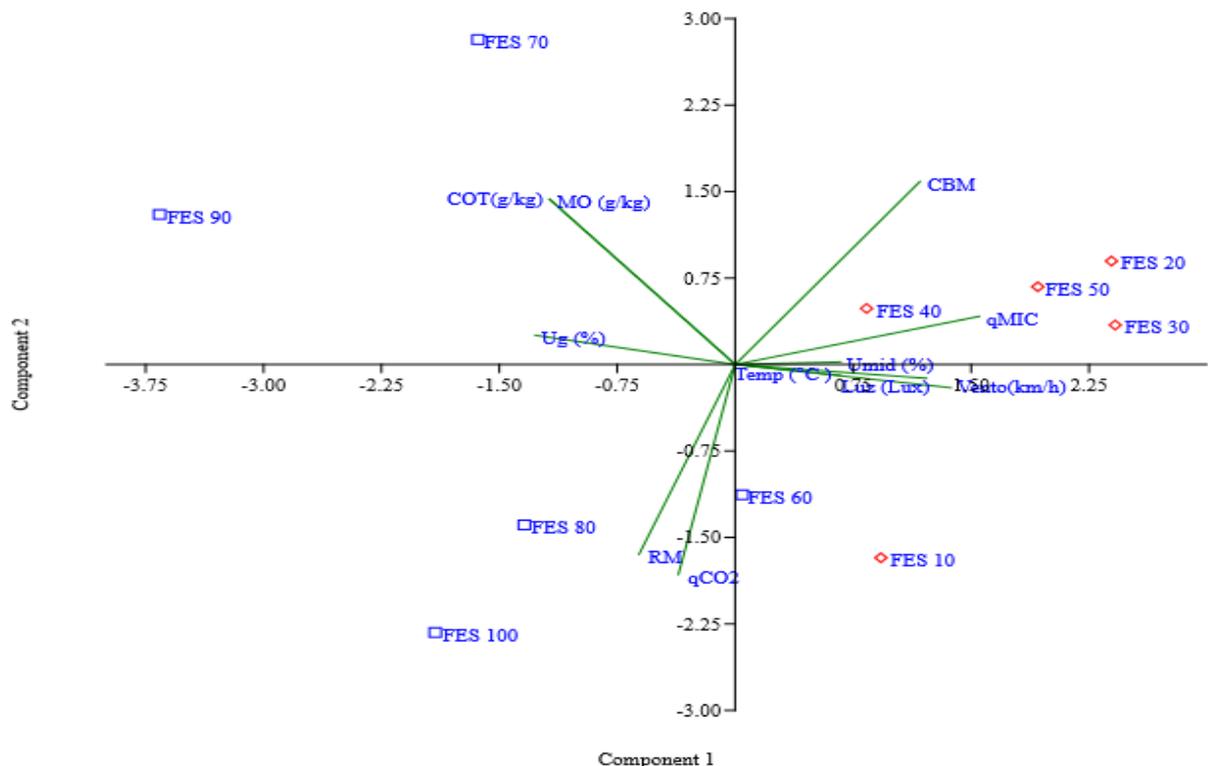
Para análise de correlação de Spearman entre as variáveis microclimáticas, obteve apenas associação positiva entre velocidade do vento e luz ( $r= 0,79^{**}$ ) para os fragmentos de FES (Tabela 3). Nenhum resultado significativo foi encontrado para eucalipto (Tabela 3).

**Tabela 3:** Correlação de Spearman entre as variáveis microclimáticas estudadas para FES e floresta de eucalipto (EUCA).

	Vento	Luz	T°C	Umid.
Vento	—	0,79**	0,60 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>
Luz	-0,36 <sup>ns</sup>	—	-0,57 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>
T°C	0,18 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	—	-0,10 <sup>ns</sup>
Umid.	0,27 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	—

Teste de correlação de Spearman. \*\* - significativo a 1%, \* - significativo a 5% e ns- não significativo. – Vento (Km/h), Luz (lux), T°C (Temperatura do ar °C), Umid. (Umidade do ar %). Para a análise foram utilizados os valores provenientes das médias das distâncias dos três fragmentos de florestas nativas e das 3 áreas de eucalipto.

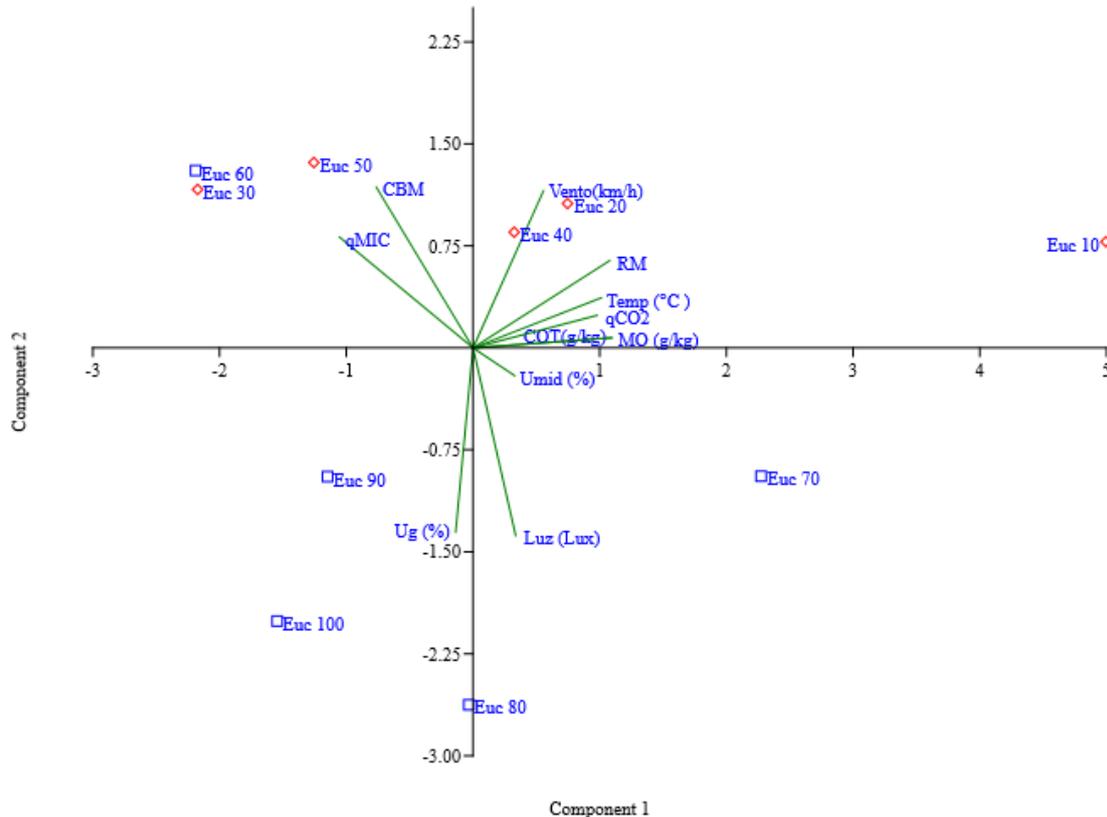
Para análise de componentes principais (PCA) apresentada na Figura 3, se refere a FES distinguimos a formação de dois componentes. Sendo que o componente 1 explicou 42,6%, e componente 2 explicou 23,6% do agrupamento dos gradientes de distância avaliados, no total os dois explicaram 66,2%. Observamos a separação de dois grupos distintos, FES 70, 80, 90 e 100 se agrupam para esquerda do quadrante, sendo formados principalmente em função das variáveis COT, MO, Ug, Temperatura, RM e  $qCO_2$ , e FES 10, 20, 30, 40, 50 e 60 se agruparam para direita, em função das variáveis CBM,  $qMIC$ , Vento, Luz e Umidade do ar (Figura 3).



**Figura 3:** Análise de componentes principais (PCA) das variáveis do solo e microclimáticas avaliadas nos fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual no sudeste de Goiás.

- Respiração microbiana (RM) ( $mg\ C-CO_2\ Kg^{-1}\ de\ solo.dia^{-1}$ ), carbono da biomassa microbiana (CBM) ( $mg\ C.\ kg^{-1}\ de\ solo$ ), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) ( $mg\ C-CO_2.\ mg^{-1}\ Cmic.dia^{-1}$ ), carbono orgânico total (COT), quociente microbiano (%) ( $qMIC$ ), matéria orgânica (g/kg) (MO), Umidade gravimétrica do solo (%) (Ug), Vento (Km/h), Luz (lux), T°C (Temperatura do ar °C), Umid. (Umidade do ar %). Para a análise foram utilizados os valores provenientes das médias das distâncias dos três fragmentos de florestas nativas e das 3 áreas de eucalipto.

A segunda PCA apresentada e referente as análises dos fragmentos de eucalipto, sendo que a mesma conseguiu explicar 66,3% dos dados, componente 1 explicou 46,0% e componente 2 explicou 20,3% (Figura 4). Nesta análise já não se há uma separação nítida de grupos, uma vez que o eixo que mais explica os dados, não favoreceu uma formação. Contudo, a UG e a Luz apresentam os maiores vetores relacionados as distancias de 80, 90 e 100 se consideramos os resultados do eixo y.



**Figura 4:** Análise de componentes principais (PCA) das variáveis do solo e microclimáticas avaliadas nos fragmentos de Floresta de Eucalipto no sudeste de Goiás.

- 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), Umidade gravimétrica do solo (%) (Ug), Vento (Km/h), Luz (lux), T°C (Temperatura do ar °C), Umid. (Umidade do ar %). Para a análise foram utilizados os valores provenientes das médias das distâncias dos três fragmentos de florestas nativas e das 3 áreas de eucalipto.

## 7. 4. DISCUSSÃO

Apenas as regressões não foram suficientes em se constatar efeito de borda no presente estudo para grande parte das variáveis de solo estudadas, apenas obtivemos resposta para quociente microbiano que ao adentrar dos fragmentos de FES, reduziu seu percentual. Altos índices de  $q_{MIC}$  indicam que a matéria orgânica do solo é ativa e está sujeita a ser decomposta pela microbiota (DADALTO et al., 2015). No caso deste estudo uma redução do percentual de  $q_{MIC}$ , pode ser favorável uma vez que se manteria mais material e carbono no solo, evitando perda excessiva para atmosfera na forma de  $CO_2$ . Segundo Trumbore e Camargo, 2009 o questionamento mais importante a ser feito para o entendimento do papel do C do solo amazônico no balanço de carbono global, é sobre as frações de carbono orgânico que estão em formas que podem ser acumuladas (COT, MO) ou liberadas (na forma de  $CO_2$  pela respiração microbiana) pelas próximas décadas ou séculos.

Em trabalho realizado para avaliar os atributos hídrico-microbiológicos do solo em período chuvoso e seco, e detectar se há efeito de borda em um fragmento florestal estacional semidecidual, não encontrou respostas quanto ao efeito da distância para as variáveis RM,  $q_{CO_2}$  (D'ABADIA et al., 2019). De acordo com os autores este fato pode ser por conta do ambiente não apresentar uma mudança significativa o que não alterou a atividade microbiológica local. O mesmo foi observado no presente trabalho, onde a distância da borda não afetou a incorporação de carbono pelo microrganismo (CBM), assim como sua atividade (RM,  $q_{CO_2}$ ). Apenas para Eucalipto que houve uma maior atividade respiratória na borda em relação ao interior do fragmento.

Santos et al., (2019) avaliando a atividade e biomassa microbiana do solo como um identificador do efeito de borda em fragmentos de florestas estacional semidecidual, demonstrou que houve variação com relação ao carbono da biomassa microbiana nos três fragmentos avaliados. Onde para borda até 10 m foram encontrados valores médios superiores ( $331,9 \mu g g^{-1}$ ) em relação ao interior ( $115,7 \mu g g^{-1}$ ), a distância do interior variou para os três fragmentos sendo elas, 180, 400 e 500 m da borda. Contudo, os autores não encontraram a mesma relação ao CO do solo, uma vez que o mesmo não diferiu entre borda, transição e interior.

Resultados distintos foram encontrados em estudos buscando determinar os estoques de carbono e a agregação do solo na borda, interior e no entorno de fragmentos florestais nos biomas Mata Atlântica e Cerrado, encontraram maiores teores de COT e valores mais altos de Estoques de C no interior dos fragmentos de Mata Atlântica, indicaram o ponto central dos

fragmentos apresentam mais conservados (OZÓRIO et al., 2019). Entretanto, vale ressaltar que no presente trabalho avaliamos apenas até os 100 m da borda, no trabalho citado foram avaliados até os 310 m, sendo esse seu ponto no interior da floresta.

O que pode apontar que até os 100 m ainda encontramos muita influência da matriz externa nos fragmentos estudados. Assim como o tamanho destes fragmentos seja o fator chave, uma vez que poucos foram os resultados significativos encontrados quanto ao efeito de borda para as variáveis de solo estudadas. De acordo com Santos et al., 2019, o tamanho do fragmento está correlacionado com a amplitude da influência do ambiente externo, condicionando os fragmentos menores há um efeito de borda semelhante em toda a sua extensão, por conseguinte, baixo estado de conservação.

As respostas encontradas para as variáveis microclimáticas, demonstra que o microclima dos fragmentos é afetado de acordo com o adentrar dos mesmos. Observamos que vento, luminosidade e temperatura reduzem seus valores com a distância da borda para os fragmentos de FES. Umidade do ar não apresentou resposta significativa. Corroborando um estudo sobre alterações abióticas e bióticas ao longo de um gradiente de borda-interior numa floresta seca (Floresta Estacional Decidual) no sudeste do Brasil. pois não encontraram efeito da distância da borda sobre as variáveis umidade do ar (ARRUDA e EISENLOHR, 2016).

Ao compararem o efeito de borda de fatores abióticos em três fisionomias de Floresta Atlântica (capoeira, floresta de transição e floresta secundária), constaram que em relação a temperatura, esta reduziu ao adentrar para o interior na capoeira (MENDONÇA e VOLTOLINI 2019). Segundo estes mesmo autores, a umidade do ar e luminosidade não registraram diferença entre borda e interior para floresta de transição e floresta secundária, já o vento apresentou somente tendência de redução ao adentrar das florestas. O que em parte corrobora o estudo desta pesquisa.

Correlações entre o microclima e a atividade microbiológica foi obtida para os fragmentos de FES, para vento e  $q_{MIC}$ , com o aumento da velocidade do vento há um aumento do  $q_{MIC}$ . A temperatura é fator chave em muitos processos químicos existentes, o mesmo vale para a atividade metabólica do solo, quanto maior a temperatura ambiental mais acelerada são as reações consequentemente maiores perdas de C e menor incorporação no mesmo. Na floresta de Eucalipto também há respostas entre luz e  $q_{MIC}$ , aumento da intensidade dos raios luminosos menor o percentual de carbono microbiano ativo no solo. E associação positiva entre T e RM, com aumento da temperatura maior a atividade de liberação de  $CO_2$  para ambiente.

A intensidade do vento, exerce uma maior pressão ao gradiente de concentração solo e atmosfera. O solo passa a perder água para atmosfera, uma vez que a umidade que estava naquele local foi movida pela ação do vento. Deste modo, o local com maior concentração está

perdendo para um de menor concentração. Avaliando o efeito de borda em um parque ecológico urbano em Cuiabá-MT, os autores constataram que as variáveis temperatura e umidade relativa do ar, assim como vento e  $T^{\circ}$ , demonstraram correlação negativa, quando submetidas à estimativa de curva, ou seja, vento e umidade proporciona uma ação termorreguladora (ANDRADE et al., 2016).

Em resumo podemos observar grande influência da borda nos fragmentos de FES, se comparado ao Eucalipto, como é nítido nas análises de componentes. Uma vez que a resposta da análise da FES e separa dois grupos distintos, um grupo composto pelo gradiente interno dos fragmentos a partir dos 70 até 100m, sendo este formado principalmente em função das variáveis COT, MO,  $U_g$ ,  $T^{\circ}C$ , RM e  $qCO_2$ . Demonstrando maior armazenamento de C, MO no interior do fragmento. O outro grupo formado pelas distâncias 10, 20, 30, 40, 50 e 60 essas localizadas na borda e no meio do gradiente de distância, agrupado em função das variáveis CBM,  $qMIC$ , Vento, Luz e Umidade do ar (Figura 3).

Resultados semelhantes foram encontrados por Novais et al., 2016 após avaliar o efeito de borda fertilidade do solo em fragmento florestal no sudoeste da Bahia, constataram que parte semi-interna distante da borda 150 a 200 metros, foi a que demonstrou possuir maior fertilidade do solo. Segundo os autores esse resultado se deve à maior presença de COT do solo, decorrente a serapilheira acumulada, o que se justifica pelos diferentes estágios de sucessão ecológica ao longo do fragmento. O mesmo se observou ao estudar o efeito de borda sobre os atributos químicos em uma floresta estacional semidecidual na Bahia, constataram que a maior influência da borda sobre a fertilidade do solo está nos primeiros 10 m (BARRETO-GARCIA et al., 2019). Mas segundo os mesmos autores, a zona de transição, localizada entre 40 e 90 m da borda, também é afetada pela matriz externa, apenas com menor intensidade que os primeiros 10 m.

E apesar de não encontrarmos uma resposta na análise de regressão, a avaliação por meio da PCA, demonstra que há relação entre borda e interior quando analisamos a microbiota do solo. Como é apresentado por Santos et al., 2018 ao avaliarem o efeito de borda em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual na Bahia, estes observaram que a ocorrência de espécies exclusivas de fungos micorrízicos arbusculares no gradiente borda-interior do fragmento.

Deste modo, notasse a necessidade de fazer análises posteriores com mais transectos, mais florestas com tamanhos variados para verificar / comprovar o efeito de borda. Reforçamos que a análise em conjunto das variáveis por meio da PCA, foi perceptível a mudanças no solo e no clima em direção ao interior da floresta.

## 7. 5. CONCLUSÕES

Quanto aos questionamentos feitos: I) Não obtivemos respostas definitivas quanto a associação entre gradiente de distância da borda e os indicadores microbiológicos avaliados e COT e MO por meio da análise de regressão. II) o microclima é um dos fatores mais afetados pela matriz externa dos fragmentos. III) poucas foram as associações entre microclima e atividade microbiológica.

O trabalho conseguiu responder os objetivos propostos, pois, as variáveis microbiológicas o gradiente borda-interior, se separou em dois grupos por conta da distinção encontrado segunda as variáveis estudadas. Vale ressaltar que indicadores microbiológicos são bons indicadores dos impactos decorrentes da fragmentação dos habitats, pois podem auxiliar na avaliação para uma possível tomada de decisão sobre prevenção de perdas de funções do ecossistema. A não formação de grupos na PCA para eucalipto, está associada ao fato de que este ambiente se encontra em uniformidade, s

Por fim, salientamos a importância de mais estudos sobre o efeito do gradiente borda-interior na atividade microbiológica, principalmente buscar compreender como o tamanho dos fragmentos interferem no metabolismo microbiano.

## 7. 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, C. R.; RIMSKI-KORSAKOV, H.; LUPI, A. M.; ROMANIUK, R. I.; COSENTINO, V. R. N.; CIARLO, E. A.; STEINBACH, H. S. Soil nitrous oxide emissions from Eucalyptus plantation in Argentina. **Forest Ecology and Management**, n. 473, p. 1-7, 2020.
- ANDRADE, L. P.; NOVAIS, J. W. Z.; MUSIS, C. R.; SANCHES, L. PEREIRA, S. P. Efeitos de borda sobre o microclima de um parque ecológico urbano em Cuiabá-MT. **Estudo & Debate**, Lajeado, v. 23, n. 2, p. 180-194, 2016.
- ARMSTRONG, A.; WALDRON, S.; WHITAKER, J.; OSTLE, N. J. Wind farm and solar park effects on plant-soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate. **Global Change Biology**, v. 20, p. 1699-1706, 2014.
- ARRUDA, D. M.; EISENLOHR, P. VV. Analyzing the edge effects in a Brazilian seasonally dry tropical forest. **Brazilian Journal Biology**, v. 76, n. 1, p. 169-175, 2016.
- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.
- BARBOSA, R. A.; BRAGA, G. B.; VALVERDE, S. R.; VILELA, K. F. V.; Queiroz, C. S., Souza, P. B.; Gonçalves, W. The evolution of planted forests from 1986 to 2017: the Brazilian case of Peçanha, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 72-84, 2020.
- BARBOSA, V. BARRETO-GARCIA, P.; GAMA-RODRIGUES, E.; PAULA, A. Biomassa, Carbono e Nitrogênio na Serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e201502243, p. 1-9, 2017.
- BARRETO-GARCIA, P. A. B.; SCORIZA, R. N.; PAULA, A. Edge effect on chemical attributes of soil in a seasonal forest. **Revista Árvore**, v. 43, n. 1, p. 1-9, 2019.
- BEHERA, L. K.; RAY, L. I. P.; NAYAK, M. R.; MEHTA, A. A.; PATEL, S. M. Carbon sequestration potential of Eucalyptus spp.: A review. **e-planet**, v. 18, n. 1, p. 79-84, 2020.
- BERNASCHINI, M. L.; TRUMPER, E.; VALLADARES, G.; SALVO, A. Are all edges equal? Microclimatic conditions, geographical orientation and biological implications in a fragmented forest. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 280, p. 142-151, 2019.
- BUSTAMANTE, M.; OMETTO, J. MARTINELLI, L. A. Biodiversidade e ciclos biogeoquímicos. In: NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. (Org.). **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. Bauru, SP, Editora Canal6 1ª edição, 2017. p. 189.
- CASTRO, S. P.; CLELAND, E. E.; WAGNER, R.; SAWAD, R. A.; LIPSON, D. A. Soil microbial responses to drought and exotic plants shift carbon metabolism. **The ISME Journal**, v. 13, p. 1776-1787, 2019.

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.

FEKETE, I.; VARGA, C.; BIRÓ, B.; TÓTH, J. A.; VÁRBÍRÓ, G.; LAJTHA, K.; SZABÓ, G.; KOTROCZÓ, Z. The effects of litter production and litter depth on soil microclimate in a central european deciduous forest. **Plant Soil**, v. 398, p. 291-300, 2016.

FERREIRA, T. S.; MARCON, A. K.; SALAMI, B.; RECH, C. C. C.; MENDES, A. R.; CARVALHO, A. F.; MISSIO, F. F.; PSCHIEDT, F.; GUIDINI, A. L.; DORNELLES, R. S.; SILVA, A. C.; HIGUCHI, P. Composição florístico-estrutural ao longo de um gradiente de borda em fragmento de Floresta Ombrófila Mista alto-montanha em Santa Catarina.

FU, D.; WU, X.; QIU, Q.; DUAN, C.; JONES, D. L. Seasonal variations in soil microbial communities under different land restoration types in a subtropical mountains region, Southwest China. **Applied Soil Ecology**, v. 153, p. 1-5, 2020.

GORA, E. M.; LUCAS, J. M.; YANOVIK, S. P. Microbial composition and wood decomposition rates vary with microclimate from the ground to the canopy in a Tropical Forest. **Ecosystems**, v. 22, p. 1206-1219, 2019.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Version 3.12. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, 1999-2016.

Industria Brasileira de Árvores – IBÁ. **Relatório 2019**. Brasília, p. 79, 2019.

LAL, R. Forest soils and carbono sequestration. **Forest Ecology and Management**, v. 2020, p. 242-258, 2005.

LIMA, G. S. A.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. A. Qualidade da paisagem e perdas de solo frente a simulação de cenários ambientais no Cerrado, Brasil. **Sociedade e Natureza**, v. 32, p. 426-439, 2020.

LUNA, R. G.; LUNA, J. G.; ANDRADE, A. P.; SOUTO, J. S.; GORLACH-LIRA, K. Biomassa e atividade microbianas em áreas de caatinga sob diferentes densidades de caprinos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 12, p. 217-250, 2019.

MENDONÇA, A. R.; VOLTONINI, J. C. Efeito de borda sobre o microclima em diferentes estágios de sucessão em Floresta Atlântica. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 25, n. 2, p. 1-9, 2019.

NETO, S. E. A.; SILVA, A. N.; KUSDRA, J. F.; KOLLN, F. T.; NETO, R. C. A. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 4, p. 650-658, 2014.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. Introdução INCT para mudanças climáticas: objetivos, principais resultados e perspectivas. In: NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. (Org.). **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. Bauru, SP, Editora Canal6 1ª edição, 2017. p. 15.

- NOVAIS, D. B.; FERREIRA, J. S.; BARRETO-COSTA, P. A. B. Fertilidade do solo como indicador do efeito de borda em fragmento florestal, Vitória da Conquista, Bahia. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 4, p. 185-189, 2016.
- OSURI, A.; GOPAL, A.; RAMAN, T. R. S.; DEFRIES, R.; COOK-PATTON, S. C.; NAEEM, S. Greater stability of carbono capture in species-rich natural forests compared to species-poor plantations. **Environmetal Research Letters**, v. 15, p. 1-11, 2020.
- OZÓRIO, J. M. B.; ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; PANACHUKI, E.; SOUZA, C. B. S.; MENEZES, R. S.; XIMENES, T. S.; CASTILHO, S. C. P.; MARRA, L. M. Estoque de carbono e agregação do solo sob fragmentos florestais nos biomas Mata Atlântica e Cerrado. **RBCIAMB**, n. 53, p. 97-116, 2019.
- PAN, Y.; BIRDSEY, R. A.; FANG, J.; HOUGHTON, R.; KAUPPI, P. E.; KURZ, W. A.; PHILLIPS, O. L.; SHVIDENKO, A.; LEWIS, S. L.; CANADELL, J. G.; CIAIS, P.; JACKSON, R. B.; PACALA, S. W.; MCGUIRE, A. D.; PIAO, S.; RAUTIAINEN, A.; SITCH, S.; HAYES, D. A large and persistente carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, p. 988-992, 2011.
- PSCHEIDT, F.; HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; RECH, T. D.; SALAMI, B.; FERREIRA, T. S.; BONAZZA, M.; BENTO, M. A. Efeito de borda como fonte da heterogeneidade do componente arbóreo em uma floresta com araucárias no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 601-612, 2018.
- SANTOS, J. F. C.; MENDENÇA, B. A. F.; ARAÚJO, E. J. G.; ANDRADE, C. F. Fragmentação florestas na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 15, n.3, p. 151-158, 2017.
- SANTOS, M. O. D.; BARRETO-ARCIA, P. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Soil microbial biomass as na edge effect indicator in Semi-Deciduous Seasonal Forest Framents. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, p. 1-9, 2019.
- SANTOS, R. S.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; SCORIZA, R. N. Fungos micorrízicos arbusculares e serapilheira como indicadores do efeito de borda em fragmento de floresta estacional. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 324-335, 2018.
- SIEFERT, C. A. C.; SANTOS, I. Dinâmica do carbono orgânico e processos hidrológicos na escala da bacia hidrográfica: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, p. 3-16, 2018.
- SILVA, D. C.; PEREIRA, J. M.; ORTIZ, D. C.; FILHO, L. C. I. O.; PINTO, L. V. A. Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14795-14816, 2020.
- TOCZYDLOWSKI, A. J. Z.; SLESACK, R. A.; KOLKA, R. K.; VENTEREA, R. T. Temperature and water-level effects on greenhouse gas fluxes from black ash (*Fraxinus nigra*) wetland soils in the Upper Great Lakes region, USA. **Applied Soil Ecology**, v. 153, p. 1-11, 2020.
- Trumbore. s. Carmargo. P. B. Soil carbon dynamics. **Geophysical Monograph Series**, p. 451-462, 2013.

ZHANG, H.; JIANG, Y.; SONG, M.; HE, J.; GUAN, D. Improving understanding of carbon stock characteristics of Eucalyptus and Acacia trees in southern China through litter layer and woody debris. **Scientific Reports**, v. 10, p. 1-11, 2020.

## 8. CONCLUSÕES GERAIS

Os dois tipos de florestas estudados são ambientes distintos quanto incorporação de carbono e atividade microbiológica. As florestas para fins econômicos são muito importantes, pois são bancos de armazenamento para C além de gerar renda para o agricultor. Contudo, ecologicamente estes ambientes não se comportam de forma semelhante a ação dos microrganismos do solo, afetando sua atividade e metabolismo.

O efeito da borda foi sentido pelo microclima da FES fortemente. Com esse tipo de alteração os efeitos são muito mais abrangentes do que os que conseguimos registrar por meio desse trabalho. Deste modo, as pesquisas a fim de avaliar o tamanho da ação da borda nos fatores bióticos e abióticos deve ser aprofundada. Para melhor elucidar as respostas encontradas no presente estudo.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVALÁ, P. NETO, T. G. S.; AGUIAR, A. P.; OMETTO, J. Emissão de gases de efeito estufa. In: NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. (Org.). **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. Bauru, SP, Editora Canal6 1ª edição, 2017. p. 231.
- ARRUDA, H. B. O. Mapeamento das emissões de gases de efeito estufa em uma empresa do setor energético. **Conexões, Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 3, p. 108-118, 2018.
- BUENO, M. L.; FILHO, A. T. D. O.; PONTARA, V.; POTT, A.; JUNIOR, G. A. D. Flora arbórea do Cerrado de Mato Grosso do Sul. **Ilheringia**, Série Botânica, Porto Alegre, v. 73 (supl.), p. 53-64, 2018.
- BRAGA, R. M.; SOUSA, F. F. D.; VENTURIN, N.; BRAGA, F. D. A. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **CERNE**, v. 22, n. 2, p. 137-144, 2016.
- BRUNEL, C.; SILVA, A. M. F.; GROS, R. Environmental Drivers of Microbial Functioning in Mediterranean Forest Soils. **Microbial Ecology**, v. 80, p. 669-681, 2020.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, p.277-290, 2010.
- COSTA, F. D. 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**, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008.
- DENARDIN, R. B. N.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L. D. P.; NESI, C. N.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F. J.; CERUTTI, T. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó-SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014.
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1165-1179, 2008.
- IBANEZ, I.; KATZ, D. S. W.; PELTIER, D.; WOLF, S. M.; BARRUE, B. T. C. Assessing the integrated effects of landscape fragmentation on plants and plant communities: the challenge of multiprocess-multirespinse dynamics. **Journal of Ecology**, v. 102, p. 882-895, 2014.
- JUNIOR, L. M. C.; NUNES, A. M. M.; PÁDUA, J. F. F.; JÚNIOR, E. P. S.; LIMA, P. A. F. O desenvolvimento brasileira das florestas de rápido crescimento com fins energéticos. **Brazilina Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28111-28125, 2020.
- LIMA, B. C.; FRANCISCO, C. N.; BOHRER, C. B. A. Deslizamentos e fragmentação florestal na região serrana do estado do Rio de Janeiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1283-1295, 2017.

- LIMA-RIBEIRO, M. S. Efeitos de borda sobre a vegetação e estruturação populacional em fragmentos de Cerradão no Sudoeste Goiano, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 2, p. 535-545, 2008.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F. D.; SOUZA, C. M. A. D.; GONÇALVES, M. C.; SILVA, M. A. G. Rotação de culturas e relação com atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 829-842, 2010.
- LUNA, R. G.; LUNA, J. G.; ANDRADE, A. P.; SOUTO, J. S.; ORLACH-LIRA, K. Biomassa e atividade microbianas em áreas de caatinga sob diferentes densidades de caprinos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 12, p. 217-250, 2019.
- MAZZETTO, A. M.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudeste da Amazônia. **Bragantina**, Campinas, v. 75, n. 1, 2016.
- MELLO, J. M.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; CHIG, L. A.; JOHNSON, M. S.; LOBO, F. A. Dinâmica dos atributos físico-químicos e variação sazonal dos estoques de carbono no solo em diferentes fitofisionomias do Pantanal Norte Mato-Grossense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 2, p. 325-336, 2015.
- MITCHELL, M. G. E.; SUAREZ-CASTRO, A. F.; MARTINEZ-HARMS, M.; MARON, M.; MCALPINE, C.; GASTON, K. J.; JOHANSEN, K.; RHODES, J. R. Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 30, n. 4, p. 190-198, 2015.
- MOURA, J. A.; GONZAGA, M. I. S.; ANJOS, J. L. D.; RODRIGUES, A. C. P.; LEÃO, T. D. D. S.; SANTOS, L. C. O. Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivado com citros e tratado com resíduos orgânicos no estado de Sergipe. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 731-746, 2015.
- PRIMIERI, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. D. M. Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00110314, 2017.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; PELISSARI, A. L.; TOMÉ, M.; MAAS, G. C. B.; SANQUETTA, M. N. I. Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas florestas plantadas brasileiras: 1990-2016. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 152-160, 2018.
- SANTOS, R.; LANDIM, I. A. M.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Dinâmica e fragmentação florestal na sub-bacia do Médio Iguazu (PR) no período de 2000 a 2015. **Bioflix, Scientific Journal**, v. 2, n. 2, 2017.

## 10. ANEXO

	RM (mg C-CO <sub>2</sub> . Kg-1 de solo.dia-1)	C- Biomassa (mgC. kg-1 de solo)	qCO <sub>2</sub> : RB/CBM (mg C-CO <sub>2</sub> . mg-1Cmic.dia-1)	COT(g/kg)	qMIC: (CBM/COT) %	MO (g/kg)	Ug %
N	8	8	8	8	8	8	8
Shapiro-Wilk W	0.8663	0.9449	0.7885	0.7729	0.863	0.7729	0.9079
p(normal)	0.1386	0.6594	0.02151	0.01459	0.1285	0.01459	0.3393
Anderson-Darling A	0.4601	0.2027	0.8275	0.8627	0.4992	0.8627	0.3321
p(normal)	0.187	0.8106	0.01789	0.01429	0.1449	0.01429	0.4145
p(Monte Carlo)	0.1933	0.8486	0.0164	0.0142	0.1505	0.0129	0.444
Jarque-Bera JB	0.9088	0.6433	1.177	1.466	0.825	1.466	0.7776
p(normal)	0.6348	0.725	0.5552	0.4804	0.662	0.4804	0.6779
p(Monte Carlo)	0.2477	0.4931	0.134	0.0947	0.3143	0.0861	0.3558

Anexo 1. Teste de normalidade Capítulo 1 para Florestas Estacionais Semidecíduais.

	RM (mg C-CO <sub>2</sub> . Kg-1 de solo.dia-1)	C- Biomassa (mgC. kg-1 de solo)	qCO <sub>2</sub> : RB/CBM (mg C-CO <sub>2</sub> . mg-1Cmic.dia-1)	COT(g/kg)	qMIC: (CBM/COT) %	MO (g/kg)	Ug %
N	9	9	9	9	9	9	9
Shapiro-Wilk W	0.8726	0.9556	0.8847	0.873	0.9694	0.873	0.8014
p(normal)	0.131	0.751	0.1759	0.1323	0.8893	0.1323	0.02118
Anderson-Darling A	0.5403	0.2352	0.4677	0.5468	0.2174	0.5468	0.8601
p(normal)	0.1192	0.7069	0.1866	0.1144	0.7719	0.1144	0.01584
p(Monte Carlo)	0.1203	0.7537	0.1949	0.1123	0.7991	0.1181	0.0132
Jarque-Bera JB	1.079	0.4142	1.05	2.765	0.3659	2.765	1.259
p(normal)	0.583	0.8129	0.5916	0.251	0.8328	0.251	0.533
p(Monte Carlo)	0.1873	0.7559	0.2033	0.0349	0.7927	0.0358	0.1353

Anexo 2. Teste de normalidade Capítulo 1 para Florestas Eucalipto.

	RM (mg C-CO <sub>2</sub> . Kg-1 de solo.dia-1)	C- Biomassa (mgC. kg-1 de solo)	COT(g/kg)	MO (g/kg)	qCO <sub>2</sub> : RB/CBM (mg C-CO <sub>2</sub> . mg-1Cmic.dia-1)	qMIC: (CBM/COT) %	Ug %	Vento km/h	Luz Lux	Temp °C	Umid %
N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Shapiro-Wilk W	0.9794	0.9438	0.7479	0.7479	0.6332	0.924	0.5177	0.7384	0.9293	0.7553	0.7728
p(normal)	0.8476	0.1508	1.94E-05	1.94E-05	5.17E-07	0.0494	2.56E-08	1.39E-05	0.06647	2.52E-05	4.79E-05
Anderson-Darling A	0.2286	0.5167	2.018	2.018	3.705	0.5566	4.492	2.66	0.6752	2.96	1.813
p(normal)	0.7903	0.1732	2.75E-05	2.75E-05	1.63E-09	0.1364	1.80E-11	6.68E-07	0.06919	1.18E-07	9.02E-05
p(Monte Carlo)	0.7937	0.1795	0.0001	0.0001	0.0001	0.1401	0.0001	0.0001	0.0645	0.0001	0.0001
Jarque-Bera JB	0.5359	1.898	71.89	71.89	50.92	3.887	255.3	12.69	2.243	4.47	40.62
p(normal)	0.7649	0.387	2.45E-16	2.45E-16	8.76E-12	0.1432	3.73E-56	0.001751	0.3258	0.107	1.51E-09
p(Monte Carlo)	0.7145	0.1753	0.0001	0.0001	0.0006	0.059	0.0001	0.0058	0.1269	0.0489	0.0007

**Anexo 3.** Teste de normalidade Capítulo 2 para Florestas Estacionais Semidecíduais.

	RM (mg C-CO <sub>2</sub> . Kg-1 de solo.dia-1)	C- Biomassa (mgC. kg-1 de solo)	COT(g/kg)	MO (g/kg)	qCO <sub>2</sub> : RB/CBM (mg C-CO <sub>2</sub> . mg-1Cmic.dia-1)	qMIC: (CBM/COT) %	Ug %	Vento km/h	Luz Lux	Temp °C	Umid %
N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Shapiro-Wilk W	0.8958	0.9891	0.9292	0.9292	0.559	0.9715	0.8663	0.9411	0.9095	0.8366	0.878
p(normal)	0.00665	0.9856	0.04688	0.04688	2.39E-08	0.58	0.001387	0.09729	0.01444	0.000329	0.002539

Anderson-Darling											
A	0.8688	0.1357	0.6547	0.6547	4.736	0.2882	1.713	0.6121	0.9755	2	1.201
p(normal)	0.02264	0.9749	0.079	0.079	4.87E-12	0.5938	0.000167	0.1013	0.01215	3.17E-05	0.003265
p(Monte Carlo)	0.0217	0.986	0.079	0.079	0.0001	0.6205	0.0001	0.1009	0.0105	0.0002	0.003
Jarque-Bera JB	8.467	0.3254	4.065	4.065	133.4	0.8236	3.301	1.873	6.915	4.505	2.455
p(normal)	0.0145	0.8498	0.131	0.131	1.06E-29	0.6624	0.192	0.3921	0.03151	0.1051	0.2931
p(Monte Carlo)	0.0199	0.8367	0.0566	0.0581	0.0001	0.564	0.0795	0.1869	0.0208	0.0487	0.1181

**Anexo 4.** Teste de normalidade Capítulo 2 para Florestas Eucalipto.