

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA- UESB
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

FRANCIELLE DA SILVA LOPES

FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FRAGMENTOS
FLORESTAIS DE DIFERENTES TAMANHOS

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA

Junho, 2018

FRANCIELLE DA SILVA LOPES

**FRAÇÕES OXIDÁVEIS DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FRAGMENTOS
FLORESTAIS DE DIFERENTES TAMANHOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia,
como parte das exigências da disciplina
monografia II.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Patrícia Anjos
Bittencourt Barreto-Garcia

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA

Junho, 2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

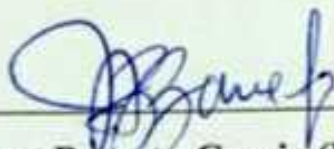
Campus Vitória da Conquista - BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: Frações Oxidáveis do Carbono Orgânico do Solo em Fragmentos Florestais de Diferentes Tamanhos

Autora: Francielle da Silva Lopes

Banca Examinadora:

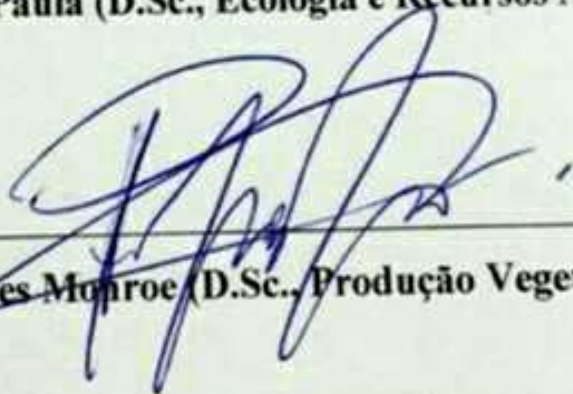


Prof.^a Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia (D.Sc., Produção Vegetal) - UESB

Orientadora



Prof. Alessandro de Paula (D.Sc., Ecologia e Recursos Naturais) - UESB



Paulo Henrique Marques Monroe (D.Sc., Produção Vegetal) – PNPd/CAPES

Data da apresentação: 05 de junho de 2018

UESB- *Campus* Vitória da Conquista. Estrada do Bem Querer Km 04 - CEP: 45083-900

E-mail: franciellyslopes@hotmail.com

(...) ciclos se fecham para que outros se abram e uma nova página traz consigo um novo capítulo, com novas possibilidades, outros sonhos, outras promessas, outras aventuras (...)

AGRADECIMENTOS

Depois de tantas batalhas e na corrida contra o tempo, eu consegui! E meu coração sobeja gratidão: Primeiramente a Deus, por me guiar nessa caminhada e me dar forças para chegar até aqui.

Aos meus pais, Deusana e Edmilson, que sempre apoiaram as minhas escolhas e me deram uma vida cheia de amor e carinho, em especial à minha mãe, mulher guerreira que, com todo seu otimismo, nunca me deixou desistir dos meus objetivos e sempre acreditou em mim.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela oportunidade de realização deste curso.

À professora Patrícia A. B. Barreto-Garcia, que além de orientadora é um ser humano exemplar, amiga e muito querida, não só por mim, mas por todos. Obrigada pela excelente orientação, pela confiança, ensinamentos e imensa contribuição no desenvolvimento deste trabalho. Tenho muito orgulho em dizer que fui sua aluna e orientada.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia –FAPESB, pelo apoio financeiro e bolsa concedida.

Ao meu co-orientador Paulo Henrique Marques Monroe, pela paciência e por toda ajuda fornecida.

A todos os meus professores da graduação que me ensinaram e me ajudaram a construir uma base profissional. Tenho muita sorte em ter tido professores tão engajados, com uma bagagem profissional enorme e tão dedicados em passar seus conhecimentos. Claro que tem aqueles que são os meus queridinhos: Alessandro, Patrícia, Brunela, Daise e Odair, vocês são incríveis!

Aos meus amigos Jéssica, Mari, Carol, Carolzinha, Luíza, Lincoln, Djalminha que, distantes ou não, torceram por mim, me incentivaram e tornaram essa caminhada mais leve. Obrigada por terem me escutado nos momentos mais difíceis, pelos conselhos (mesmo que eu fizesse tudo diferente), pela amizade sincera e por me aceitarem do jeitinho que eu sou.

Aos amigos que conheci da turma 2013.1, os quais tive o prazer de conviver durante todos esses anos, em especial à Luma e Maiquito, por quem tenho grande admiração; e àqueles dos outros períodos da Engenharia Florestal (não tem como citar todos), mas sintam se agradecidos por mim, por todas as ajudas fornecidas, todos os momentos, viagens, festas, grupos de estudos, desesperos, etc., compartilhados. Agradeço de coração a cada um de vocês. Muito obrigada!!

Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em fragmentos florestais de diferentes tamanhos

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar as frações do carbono orgânico do solo como indicador do efeito de borda em fragmentos de floresta estacional no sudoeste da Bahia. O estudo foi conduzido em três fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual Montana com tamanhos diferenciados (pequeno, médio e grande), localizados no município de Vitória da Conquista (BA). Três faixas de amostragem foram demarcadas em cada fragmento florestal: borda (0-10 m), transição (40-50 m) e interior. Foram coletadas três amostras compostas de solo por faixa. As frações do CO foram determinadas por oxidação úmida. No fragmento 1, o efeito de borda foi observado na fração moderadamente lábil do C no solo (F2). No fragmento 2, o efeito de borda foi observado na fração de maior estabilidade do C no solo (F3). Já no fragmento 3, as frações não foram capazes de indicar alterações no solo ocasionadas pelo efeito de borda.

Palavras-chave: efeito de borda, matéria orgânica do solo, fragmentação.

Fractions oxidizable of soil organic carbon in forest fragments of different sizes

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the distribution of fractions of soil organic carbon as an indicator of the edge effect in fragments of seasonal forest in the Southwest of Bahia. The present research was conducted in three fragments of Montana seasonal semideciduous forest with different sizes, located in the city of Vitória da Conquista (BA). Three sampling strips were demarcated in each forest fragment: border (0-10 m), transition (40-50 m) and interior. The fractions of CO were determined by wet oxidation. In fragment 1, the edge effect was

observed in the moderately labile fraction of soil C (F2). In fragment 2, the edge effect was observed in the fraction of greater soil C stability (F3). In fragment 3, the fractions were not able to indicate changes in the soil caused by the edge effect.

Keywords: edge effect, organic matter, fragmentation

INTRODUÇÃO

A fragmentação pode ser definida como um processo em que grandes áreas florestais são transformadas em pequenas manchas isoladas. Isso ocasiona uma série de alterações no ecossistema e em suas comunidades, que passam a apresentar características distintas daquelas encontradas no *habitat* original (Lord & Norton, 1990). Esse fenômeno atinge proporções significativas no Brasil, verificando-se redução das áreas de vegetação nativa e a formação de fragmentos florestais.

Dentre as formações florestais brasileiras, as fisionomias da Mata Atlântica são as mais afetadas pela fragmentação, ocupando apenas 22% da sua área original (MMA, 2013). Exemplo disso são as florestas estacionais decíduais e semidecíduais, que se encontram distribuídas na forma de manchas remanescentes na região de transição dos biomas Caatinga e Mata Atlântica.

A fragmentação ocasiona o surgimento de fronteiras artificiais entre a floresta e outros usos do solo, levando a formação de bordas abruptas (Laurance, 2003). As áreas localizadas nas bordas dos fragmentos ficam mais expostas à influência do ambiente externo, alterando o fluxo de energia, matéria e organismo entre os ambientes adjacentes. Esse conjunto de alterações ecológicas que ocorrem entre borda e interior é denominado de efeito de borda (Harper et al., 2005).

O efeito de borda gera a ocorrência de gradientes abióticos e bióticos (Ries et al., 2004), podendo se refletir em diversos componentes do ecossistema, como na composição e riqueza vegetal (Oosterhoon & Kapelle, 2000; Holanda et al., 2010; Rigute et al., 2013); e na produção

e acúmulo de serapilheira (Portela & Santos, 2007; Vogel et al., 2013; Santos et al., 2018). Alterações na qualidade e quantidade dos resíduos florestais depositados ocasionam mudanças no armazenamento de carbono orgânico do solo (CO) (Barreto et al., 2014), todavia, alterações no CO resultantes de efeito de borda em fragmentos florestais ainda são pouco conhecidas.

Os ecossistemas florestais constituem importantes sumidouros de carbono, já que apresentam capacidade de sequestrar carbono tanto no componente vegetal quanto no solo (Montagnini & Nair, 2004). De acordo com Cerri et al. (2001), o carbono orgânico contido no solo e na vegetação representa cerca de 20 a 25% de todo C presente na superfície terrestre.

Dentre os diferentes atributos do solo, o CO é considerado um bom indicador de alterações no ambiente (Barreto et al., 2008), já que condiciona diferentes processos e propriedades edáficas (Trumbore & Camargo, 2009). Contudo, os teores totais de carbono orgânico podem não ser sensíveis em detectar pequenas variações na matéria orgânica do solo (MO) (Barreto et al., 2014). Nessa condição, o conhecimento da distribuição do CO em compartimentos lábeis e estáveis da MO permite identificar mudanças na qualidade do C orgânico do solo (Barreto et al., 2011).

Diferentes métodos podem ser empregados para separar frações do C orgânico do solo, estando entre os principais o fracionamento por oxidação proposto por Chan et al. (2001). Por meio deste método, obtém-se quatro frações em função de um gradiente ácido (6, 9 e 12 mol L⁻¹ de H₂SO₄). As duas primeiras frações são mais lábeis, tendo relação direta com a disponibilidade de nutrientes e formação de macroagregados (Chan et al., 2001). As outras duas frações são mais recalcitrantes e estão associadas a compostos de maior resistência química e massa molar, resultante da humificação e decomposição da MO (Rangel et al., 2008). Adotando esse procedimento, vários estudos têm verificado que as frações oxidáveis são mais responsivas que o C orgânico total para detectar mudanças atribuídas ao uso e manejo do solo (Rangel et al., 2008; Barreto et al., 2011; Barreto et al., 2014).

Da mesma forma, a análise dessas frações pode ser utilizada para conhecer o nível de interferência do efeito de borda na qualidade da MO e, com isso, auxiliar na definição de indicadores capazes de avaliar o estado de conservação de fragmentos florestais. No entanto, estudos relacionados a este tema ainda são inexistentes. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as frações oxidáveis do carbono orgânico do solo como indicador de efeito de borda em fragmentos florestais de diferentes tamanhos.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área

A área de pesquisa está localizada no município de Vitória da Conquista (BA), que está inserido em uma zona de transição entre os biomas Caatinga e Mata Atlântica e tem como vegetação predominante a Floresta Estacional Semidecidual Montana, conhecida regionalmente como mata de cipó. A mata de cipó do Planalto da Conquista apresenta-se como uma floresta com indivíduos de médio porte (altura média entre 10 e 15 metros), aproximadamente 50% de caducifolia (Soares Filho, 2000) e dominância de espécies como: *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma* spp., *Machaerium acutifolium*, *Eugenia* spp., *Piptadenia* spp, *Astronium* spp. e *Machaerium nyctitans* (Soares Filho, 2012).

A região apresenta relevo plano a levemente ondulado e precipitação pluviométrica variando de 700 a 1.100 mm anuais, sendo os meses mais chuvosos de novembro a março. A temperatura média anual é de 21°C.

Seleção dos fragmentos

Foram selecionados três fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual Montana, com tamanhos diferenciados: um pequeno (7,3 ha), um médio (45 ha) e um grande (142 ha), todos com estrutura florestal e histórico de perturbação visivelmente semelhantes. Em relação a distribuição na paisagem, os fragmentos encontravam-se isolados, separados de outras manchas

florestais por áreas ocupadas com atividades agropecuárias; o fragmento grande apresentava conexão com outros fragmentos florestais e aparentemente constituía um ambiente mais conservado em relação aos demais. Os solos dos três fragmentos possuem textura argiloarenosa e pertencem a mesma classe: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Embrapa, 2006).

A localização e coordenadas geográficas dos fragmentos são apresentadas a seguir: fragmento pequeno – fica nas proximidades da BR 116 (14° 56' 40" S e 40° 53' 50" W); fragmento médio - está situado no campo agropecuário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *Campus* de Vitória da Conquista (14° 52' 46" S e 40° 47' 34" W); e fragmento grande – fica nas proximidades da BA-263, entre os municípios de Vitória da Conquista e Barra do Choça (14° 52' 53" S e 40° 41' 33" W).

Para caracterização espacial dos fragmentos na paisagem (Tabela 1) empregou-se imagens do Google Earth, que foram utilizadas no *software* Trakemaker Pro. Assim, obteve-se a área total de cada fragmento; a área nuclear – área do fragmento eliminando bordas de 50 m (Murcia, 1995); a distância de cada fragmento em relação a outros fragmentos florestais maiores que 50 ha (ISO) e a proximidade de fragmentos florestais (PROX) – calculada com base na fórmula $PROX = \sum (A/D^2)$, sendo A a área do fragmento próximo, considerando um raio máximo de 800 m da borda (Vidal et al., 2007).

Delimitação das faixas de amostragem

Para avaliação do efeito de borda, três faixas de amostragem foram demarcadas em cada fragmento florestal: (a) borda, que foi posicionada na extremidade da mata, a 0-10 m da borda; (b) transição, que representa uma zona intermediária de transição dentro da mata e foi posicionada a 40-50 m da borda; e (c) interior, que corresponde a matriz do fragmento e foi localizada na metade da distância total entre extremidades de cada fragmento no sentido de caminamento da demarcação das faixas.

Coleta de solo e serapilheira

Foram coletadas três amostras compostas de solo por faixa de amostragem (cada uma delas formada por cinco amostras simples) da camada 0-10 cm, obtendo-se três repetições de campo por faixa. Após a coleta, todo o material foi seco ao ar e passado em peneira com malha de 2 mm. Posteriormente, as amostras de solo foram maceradas com o auxílio de um almofariz de porcelana. A coleta de serapilheira foi realizada com o auxílio de um gabarito quadrado de madeira, com área de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), lançado de forma aleatória com três repetições por faixa.

Análise química do solo

As amostras de solo foram analisadas de acordo com EMBRAPA (2017), determinando-se: P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca, Mg, Al (trocaíveis, por KCl 1 mol L⁻¹), N total pelo método Kjeldahl, pH (em água) e granulometria. Portanto, a Tabela 2 representa a caracterização química e granulométrica do solo (camada 0-10 cm) nas faixas dos fragmentos avaliados.

Tabela 2. Caracterização química e granulométrica do solo em três fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, no município de Vitória da Conquista, Bahia.

Table 2. Chemical and granulometric characterization of soil in three fragments of semideciduous seasonal forest, in the city of Vitória da Conquista, Bahia.

Faixa	pH	P	Al	K	Na	Ca	Mg	H + Al	Argila	Areia	Silte
	H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----					----- g kg ⁻¹ -----			
Fragmento pequeno											
Borda	4,60	3,00	1,20	0,13	0,02	1,01	0,41	11,60	454,78	518,01	27,20
Transição	4,40	3,20	1,50	0,11	0,03	0,65	0,26	11,20	450,01	516,37	33,62
Interior	4,60	3,40	1,20	0,10	0,02	0,80	0,39	8,90	451,14	272,99	275,87
Fragmento médio											
Borda	5,20	3,60	0,30	0,16	0,02	2,09	0,64	6,90	229,86	740,90	29,24
Transição	5,00	4,20	0,50	0,11	0,01	1,87	0,51	6,80	211,79	762,35	25,86
Interior	5,00	5,80	0,30	0,17	0,02	2,23	0,62	7,90	155,36	832,96	11,68
Fragmento grande											
Borda	4,80	3,40	0,90	0,13	0,02	1,22	0,52	9,10	361,56	610,60	27,84
Transição	4,60	2,80	1,40	0,10	0,02	0,67	0,28	11,70	385,67	586,93	27,40
Interior	4,70	3,20	1,20	0,11	0,01	0,70	0,38	9,40	308,83	671,66	19,51

Fragmento pequeno - 7,3 ha; Fragmento médio - 45 ha; Fragmento grande - 142 há; Borda - faixa amostral posicionada a 0-10 m da borda do fragmento florestal; Transição - faixa amostral posicionada a 40-50 m da borda; e Interior - localizada na parte central do fragmento florestal.

Determinação das Frações Oxidáveis

As frações do C orgânico total do solo (COS) foram determinadas por oxidação úmida utilizando o método proposto por Chan et al. (2001). Adicionou-se a frascos de erlenmeyer 0,5 g de solo peneirado e macerado, 10 ml de K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e quantidades de ácido sulfúrico concentrado de 5 e 10 ml, além dos 20 ml para o COS proposto por Walkley e Black (1934).

Esse fracionamento resultou no preparo de três soluções aquosas ácidas resultantes das proporções 0,5:1, 1:1 e 2:1, correspondentes a 6, 9 e 12 mol L⁻¹ de H₂SO₄, respectivamente. A oxidação foi realizada com o auxílio de uma chapa aquecedora (aproximadamente 170 °C) e, posteriormente, a titulação dos extratos obtidos foi feita com solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂H₂O 0,5 mol L⁻¹, utilizando-se cinco gotas do indicador difenilamina.

A partir da comparação das concentrações de C obtidas com graus crescentes de oxidação, três frações foram determinadas: fração 1 (F1) – CO oxidável em solução de 6 mol L⁻¹ de H₂SO₄, que representa a fração lábil do C orgânico; fração 2 (F2) – CO oxidável correspondente à diferença entre as soluções de 9 e 6 mol L⁻¹ de H₂SO₄, que constitui a fração moderadamente lábil; e fração 3 (F3) – CO oxidável correspondente a diferença entre as soluções de 12 mol L⁻¹ e 9 mol L⁻¹ de H₂SO₄, que representa a fração pouco lábil.

Foram calculadas as contribuições relativas das frações oxidáveis em relação ao CO.

Análise dos dados

Para comparar os atributos do solo entre as faixas de cada fragmento florestal estudado, empregou-se o teste t de Student a 5% de significância, utilizando o programa estatístico STATISTICA v. 10. Além disso, foi realizada análise de correlação de Pearson dos teores de COS, N total e frações de carbono com serapilheira e teores de argila.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico total do solo (COS) mostraram diferenças significativas entre as faixas de amostragem apenas nos fragmentos de menor tamanho (Tabela 2). No fragmento pequeno, os menores teores de COS foram observados na borda (28,30 g kg⁻¹), enquanto no fragmento médio, menores valores foram encontrados na borda e na faixa de transição, que representaram em média de 24,5 g kg⁻¹. Esses resultados indicam que houve efeito de borda sobre os teores de COS desses dois fragmentos e podem estar relacionados ao fato de fragmentos menores sofrerem maior influência dos fatores externos (Oliveira & Mattos, 2014). Nesse caso, o microambiente da borda, mais propenso à mudanças físicas e estruturais, estaria influenciando de forma negativa no acúmulo de COS no solo. De acordo com Jobbágy & Jackson (2000), a matéria orgânica encontrada nas bordas de fragmentos florestais é mais

influenciada por fatores climáticos como temperatura e precipitação, dessa forma, pode estar mais sujeita à perda por decomposição e erosão.

Tabela 3. Carbono orgânico total, nitrogênio total e frações oxidáveis do carbono orgânico (g kg^{-1}) em três faixas de amostragem de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual.

Table 3. Total organic carbon, total nitrogen and oxidizable fractions of organic carbon (g kg^{-1}) in three sampling ranges of seasonal semideciduous forest fragments.

Atributo	Faixas			Média
	Borda	Transição	Interior	
Fragmento pequeno				
COS	28,30 (0,7) b	39,90 (0,7) a	38,86 (0,5) a	35,69
N total	2,4 (0,2) a	1,7 (0,2) a	1,9 (0,1) a	2,02
C/N	11,79 (1,5) b	23,47 (3,5) a	20,45 (2,3) a	18,57
F ₁	14,71 (1,0) a	17,63 (0,7) a	17,89 (0,9) a	16,74
F ₂	2,98 (1,1) c	9,94 (0,4) a	8,12 (0,3) b	7,01
F ₃	10,61 (0,9) a	12,33 (0,4) a	12,85 (1,2) a	11,93
Fragmento médio				
COS	25,46 (2,5) b	23,59 (0,6) b	34,30 (3,0) a	27,78
N total	1,10 (0,2) a	1,10 (0,0) a	1,60 (0,2) a	1,29
C/N	23,15 (3,8) a	21,45 (2,1) a	21,44 (2,9) a	22,01
F ₁	13,07 (1,3) a	11,96 (0,3) a	16,19 (1,6) a	13,74
F ₂	4,88 (1,2) a	1,48 (0,2) b	3,64 (0,5) ab	3,33
F ₃	7,51 (0,7) b	10,15 (0,5) a	14,47 (1,6) a	10,71
Fragmento grande				
COS	28,26 (4,2) a	32,38 (2,1) a	29,05 (3,1) a	29,90
N total	1,40 (0,1) a	1,60 (0,0) a	1,50 (0,0) a	1,53
C/N	20,19 (2,9) a	20,24 (0,8) a	19,37 (2,3) a	19,93
F ₁	11,57 (0,8) a	13,41 (0,9) a	15,21 (2,1) a	13,40
F ₂	6,82 (1,2) a	9,15 (1,5) a	6,80 (3,6) a	7,59
F ₃	9,87 (2,8) a	9,82 (3,4) a	7,04 (1,0) a	8,91

Fragmento pequeno - 7,3 ha; Fragmento médio - 45 ha; Fragmento grande - 142 ha; Borda - faixa amostral posicionada a 0-10 m da borda do fragmento florestal; Transição - faixa amostral posicionada a 40-50 m da borda; e Interior - localizada na parte central do fragmento florestal; F₁ - fração lábil; F₂ - fração moderadamente lábil; F₃ - fração pouco lábil. Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=6). Letras minúsculas iguais na linha, que comparam as faixas de amostragem, não mostram diferenças estatísticas pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

Os teores médios de CO por fragmento foram de $35,7 \text{ g kg}^{-1}$ (fragmento pequeno), $27,8 \text{ g kg}^{-1}$ (fragmento médio) e $29,9 \text{ g kg}^{-1}$ (fragmento grande). Seguindo padrão semelhante, os teores médios de N total variaram entre $1,3 \text{ g kg}^{-1}$, no fragmento médio, e $2,0 \text{ g kg}^{-1}$, no fragmento pequeno (Tabela 3). Estes resultados devem estar relacionados à granulometria dos

solos estudados, uma vez que se verificou correlações significativas dos teores de argila com os resultados de COS ($p < 0,05$, $r = 0,50$) e de N total ($p < 0,05$, $r = 0,69$), demonstrando que solos mais argilosos favorecem o acúmulo de carbono e nitrogênio. Essa relação significativa entre os teores de argila e o teor de COS também foi encontrada por Zinn et al. (2005). Segundo Silva & Mendonça (2007), solos sob condições ambientais semelhantes e com maior teor de argila apresentam maior teor de COS, pois os minerais presentes na fração argila, são capazes de formar complexos com a matéria orgânica, evidenciando maior energia de ligação, dessa forma, propiciando proteção física e, conseqüentemente, resultando em sua maior preservação.

Em um estudo com Latossolo Vermelho com textura argilosa (camada 0-10 cm), sob Floresta Estacional Semidecidual no estado de Minas Gerais, Rangel et al. (2007) verificaram teores de C orgânico e N total semelhantes aos valores médios encontrados neste trabalho (38,9 e 1,4 g kg⁻¹ respectivamente).

A relação C/N pouco variou entre os fragmentos, estando entre 18,57 e 22,01 (Tabela 3). Apenas no fragmento menor houve variação desta relação entre as faixas de amostragem, sendo inferior na borda (11,8) em relação a transição e interior. De acordo com Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues (2008), essa relação pode ser utilizada como um índice para expressar a qualidade nutricional da MOS e a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar CO e N do solo, sendo que, quanto menor o seu valor, melhor é a qualidade do material presente no solo. Sendo assim, a menor relação observada na borda sugere uma maior ocorrência de espécies geradoras de serapilheira de menor relação C/N, possivelmente leguminosas pioneiras, demonstrando a possível influência da composição vegetal na qualidade da matéria orgânica do solo.

O acúmulo médio de serapilheira variou de 3,4 Mg ha⁻¹ a 4,4 Mg ha⁻¹, não havendo diferenças estatísticas entre os fragmentos estudados. No fragmento pequeno, maiores quantidades de serapilheira foram observadas na borda (6,1 Mg ha⁻¹) em relação a faixa de

transição e interior do fragmento (Tabela 4). Resultado semelhante foi observado por Portela & Santos (2007) que, estudando fragmentos florestais de Mata Atlântica de tamanho pequeno, verificaram maior quantidade de serapilheira próximo à borda. Vasconcelos & Luizão (2004) também encontraram maior produção de serapilheira na borda do que no interior de fragmentos florestais. Essa diferença pode ser explicada pela variação na composição da vegetação e microclima da borda em relação ao interior. Adicionalmente, Laurance & Vasconcelos (2009) afirmam que esta condição está intimamente relacionada ao aumento de lianas e plantas pioneiras nas bordas, pois a estrutura formada por estas espécies é mais dinâmica do que florestas com estádios sucessionais mais tardios. As florestas que apresentam um estado próximo ao clímax podem apresentar algumas alterações no ciclo biogeoquímico e funções ecossistêmicas, apresentando reflexos na camada de serapilheira ao longo do tempo.

Por outro lado, nos fragmentos médio e grande a serapilheira acumulada não diferiu entre as faixas. Gomes et al. (2010), realizando estudos em um fragmento de Mata Atlântica no Rio de Janeiro, também não constataram diferenças significativas na produção de serapilheira entre a borda e o interior.

A fração de C lábil (F_1) não mostrou diferenças significativas entre as faixas de nenhum dos três fragmentos estudados, (Tabela 3), variando entre 11,57 e 17,89 g kg⁻¹. Em todos os fragmentos, os maiores teores de carbono oxidável foram encontrados na F_1 , que representou em média 48% do C orgânico do solo (Tabela 4). Essa proporção é superior a encontrada por Loss et al. (2014) em solo sob floresta secundária (36%) e por Rosset et al. (2016) em solos sob floresta nativa e pastagem (32%).

Tabela 4. Serapilheira acumulada (Mg ha^{-1}) e contribuições relativas das frações oxidáveis em relação ao carbono orgânico total do solo (%) em três faixas de amostragem de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual.

Table 4. Accumulated litter (Mg ha^{-1}) and relative contributions of the oxidizable fractions in relation to the total organic carbon of the soil (%) in three sampling ranges of fragments of Seasonal Semideciduous Forest.

Frações	Faixas			Média
	Borda	Transição	Interior	
Fragmento pequeno				
Serap	6,18 (0,6) a	3,05 (0,3) b	4,05 (0,6) b	4,43
F ₁	51,88 (2,3) a	44,19 (1,5) b	46,05 (2,3) ab	47,37
F ₂	10,68 (4,0) b	24,92 (1,2) a	20,93 (1,1) ab	18,84
F ₃	37,44 (2,7) a	30,89 (0,5) a	33,02 (2,8) a	33,78
Fragmento médio				
Serap	4,55 (0,6) a	3,68 (0,35) a	4,68 (0,2) a	4,30
F ₁	51,27 (0,4) a	50,77 (1,9) a	47,22 (2,7) a	49,75
F ₂	18,76 (4,0) a	6,26 (0,5) b	10,75 (1,7) ab	11,92
F ₃	29,97 (4,0) a	42,97 (1,4) b	42,03 (1,5) b	38,32
Fragmento grande				
Serap	2,48 (0,6) a	4,29 (0,2) a	3,43 (0,7) a	3,40
F ₁	41,94 (3,5) a	41,67 (3,5) a	52,71 (7,0) a	45,44
F ₂	24,26 (3,6) a	29,05 (6,2) a	22,59 (10,9) a	25,30
F ₃	33,80 (4,8) a	29,28 (8,3) a	24,70 (4,1) a	29,26

Fragmento pequeno - 7,3 ha; Fragmento médio - 45 ha; Fragmento grande - 142 ha; Borda - faixa amostral posicionada a 0-10 m da borda do fragmento florestal; Transição - faixa amostral posicionada a 40-50 m da borda; e Interior - localizada na parte central do fragmento florestal; Serap - serapilheira acumulada; F₁ - fração lábil; F₂ - fração moderadamente lábil; F₃ - fração pouco lábil. Valores entre parênteses referem-se ao erro padrão da média (n=6). Letras minúsculas iguais na linha, que comparam as faixas de amostragem, não mostram diferenças estatísticas pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

A fração moderadamente lábil (F₂), por outro lado, apresentou diferenças significativas entre as faixas dos fragmentos de menor tamanho. No fragmento menor, o conteúdo de F₂ foi inferior na borda (2,9 g kg^{-1}), tendo valores superiores na transição (9,9 g kg^{-1}) e no interior do fragmento (8,1 g kg^{-1}). Isto evidencia que o efeito de borda na faixa mais externa do fragmento interferiu no acúmulo de C na F₂, possivelmente em decorrência da maior exposição a ventos e chuvas, que condiciona a ocorrência de espécies vegetais, o aporte de resíduos acima e abaixo do solo e, conseqüentemente, a estabilização da matéria orgânica do solo. Esta informação é apoiada pela correlação negativa significativa verificada entre a F₂ e a serapilheira estocada

sobre o solo ($p < 0,05$; $r = -0,49$), que demonstra que o acúmulo de serapilheira, combinado à qualidade dos resíduos vegetais, estaria atuando como regulador da fração de C moderadamente lábil. É provável que essa influência esteja relacionada ao tamanho do fragmento, pois um fragmento pequeno pode não expressar características de uma floresta preservada, podendo estar sofrendo maior interferência do meio externo e maior suscetibilidade às alterações na resistência em comparação aos fragmentos maiores.

No fragmento médio, embora a F_2 tenha apresentado variação entre as faixas de amostragem (foi inferior na transição e não se diferenciou entre borda e interior) (Tabela 3), não foi possível verificar um padrão nítido de mudança ocasionada pelo efeito de borda.

Juntas F_1 e F_2 perfazem mais de 50% do CO em todas as faixas dos três fragmentos (Tabela 4). Essas frações apresentam maior labilidade no solo (Loss et al., 2009) e estão associadas com a adição de resíduos vegetais e disponibilidade de nutrientes (Chan et al., 2001). Por essa razão, costumam ser mais responsivas às alterações no meio do que as frações mais recalcitrantes. Entretanto, no presente estudo apenas a F_2 se mostrou capaz de sinalizar alterações no solo ocasionadas pelo efeito de borda.

Por sua vez, a fração pouco lábil (F_3) apresentou diferenciação entre faixas apenas no fragmento médio, verificando-se um gradiente de aumento do conteúdo de C desta fração da borda ($7,51 \text{ g kg}^{-1}$) para a faixa de transição e interior, que não se distinguiram estatisticamente (média $12,3 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 3). A fração F_3 apresenta maior resistência à decomposição, estando associada a compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da humificação e decomposição da matéria orgânica do solo (Rangel et al., 2008). Sendo assim, o menor teor de F_3 na borda do fragmento sugere um ambiente alterado, que acelera a decomposição, inclusive de compostos mais recalcitrantes e reduz a quantidade de C na fração mais estável da MOS.

O fragmento de maior tamanho não apresentou variação entre as faixas para os teores totais e das frações do C orgânico do solo (Tabela 3), o que demonstra que a fragmentação não promoveu alterações na dinâmica da matéria orgânica do solo deste fragmento. Oliveira & Mattos (2014) apontaram que fragmentos de menor tamanho sofrem maiores interferências de fatores externos em relação aos fragmentos maiores e, dessa forma, a dinâmica interna acaba perdendo força para a influência que o entorno do fragmento exerce. Segundo Laurence et al. (2002), as maiores influências do meio externo são detectadas até 100 m de distância da borda.

Os resultados alcançados neste estudo apontam que o tamanho do fragmento regula o nível de influência do ambiente externo, visto que apenas nos fragmentos menores houve indício de efeito de borda. Assim, a maior distância borda-interior no fragmento grande estaria favorecendo a manutenção do seu estado de conservação e, conseqüentemente, a uniformidade da dinâmica do C orgânico do solo em toda extensão do fragmento pela menor influência do ambiente externo.

CONCLUSÃO

As frações de C moderadamente lábil (F₂) e pouco lábil (F₃) do solo mostram-se indicadoras de efeito de borda nos fragmentos de menor tamanho.

O tamanho dos fragmentos influenciou o nível das mudanças causadas pelo efeito de borda. Os fragmentos menores mostram-se mais suscetíveis, enquanto o fragmento de maior tamanho demonstrou maior preservação das características na borda e interior, evidenciando uniformidade da dinâmica do C orgânico do solo em toda a sua extensão pela menor influência do ambiente externo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreto AC, Freire MBGS, Nacif PGS, Araújo QR, Freire FJ, Inácio ESB. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2008, 32(4): 1471-1478.
- Barreto PAB, Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC, Fontes AG, Polidoro JC, Moço MKS et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agroforestry systems* 2011, 81(3): 213–220.
- Barreto PAB, Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC. Carbon in organic matter fraction in soils under eucalyptus plantation at different ages. *Scientia Forestalis* 2014, 42(104): 581–590.
- Cerri, CC, Bernoux M, Carvalho MCS, Volkoff B. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudança de uso da terra e calagem. Brasília: Ministério da Ciências e Tecnologia, 2001.
- Chan KY, Bowman A, Oates A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science* 2001, 166:61-67.
- Embrapa Solos UEP Recife. Levantamentos de solos dos estados do Nordeste. 2006. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html>. Acesso em 09 de mar., 2018.
- Manual de Métodos de Análise de Solo. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, 2017.
- Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC, Santos GA, Silva LS, Canellas LP, Camargo FAO. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, 2 ed., 2008.
- Gomes JM et al. Aporte de serapilheira e de nutrientes em fragmentos florestais da Mata Atlântica, RJ. *Revista Brasileira Ciências Agrárias* 2010, 5(3):383-391.
- Harper KA, Macdonald E, Burton PJ, Chen J, Brosofske KD, Saunders SC et al. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 2005, 19(3):768-782.
- Holanda AC, Feliciano ALP, Marangon LC, Santos MS, Melo CLSMS de; Pessoa MML. Estruturas de espécies arbóreas sob efeito de borda em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Pernambuco. *Revista Árvore* 2010, 34(1): 103-114.
- Jobbágy EG, Jackson RB. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications* 2000, 10(2): 423-436.
- Laurance WF. Hyper-dynamism in fragmented habitats. *Journal of Vegetation Science* 2002, 13: 595-602.
- Laurance WF, Vasconcelos HL. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. *Oecologia Brasiliensis* 2009, 13(3): 434-451.

Lord JM, Norton DA. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conservation Biology* 1990, 4(2): 197-226.

Loss A, Pereira MG, Schultz N, Anjos LHC, Silva EMR. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. *Ciência Rural* 2009, 39(4): 78-83.

Loss A et al. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. *Bioscience Journal* 2014, 30(1): 43-54.

Ministério do Meio Ambiente. *Biomass do Brasil: Mata Atlântica*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomass/mata-atlantica>. Acesso em: 16 mar. 2018.

Montagnini F, Nair PKR. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems, *Agroforestry Systems* 2004, 61: 281-295.

Oliveira FFG, Mattos JT. Análise ambiental de remanescentes do bioma Mata Atlântica no litoral sul do Rio Grande do Norte – NE do Brasil. *GEOUSP – Espaço e Tempo (Online)*, São Paulo, 18(1): 165-183, 2014. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/81095>. Acesso em: 09 de mai. de 2016.

Oosterhoorn M, Kappelle M. Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rica montane cloud forest. *Forest Ecology and Management* 2000, 126 (3): 291-307.

Portela RCQ, Santos FAM. Produção e espessura da serapilheira na borda e interior de fragmentos florestais de Mata Atlântica de diferentes tamanhos. *Revista Brasil Botânica* 2007, 30(2): 271-280.

Rangel OJP, Silva CA, Guimarães PTG, Guilherme LRG. Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de Plantio. *Revista Brasileira Ciência e Agrotecnologia* 2008, 32(2): 429-437.

Rangel OJP, Silva CA. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2007, 31:1609-1623.

Ries L. et al. Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, Models, and Variability Explained. *Annual Review of Ecology* 2004, 35(1): 491-522.

Riguete JR, Dornellas EEJ, Teixeira NB. Avaliação do efeito de borda em fragmento florestal tomando o diâmetro de árvores como indicador. *Natureza online* 2013, 11(4):193-195.

Rosset JS, Lana MC, Pereira MG, Schiavo JA, Rampim L, Sarto MVM. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2016, 51(9): 1529-1538.

Santos RS dos, Barreto-Garcia PAB, Scoriza RN. Fungos micorrízicos arbusculares e serapilheira como indicadores do efeito de borda em fragmento de floresta estacional. *Ciência Florestal* 2018, 28(1): 324-335.

Silva IR, Mendonça ES. Matéria orgânica do solo. In: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, 2007.

Soares filho AO. Estudo fitossociológico de duas florestas em região ecotonal no Planalto de Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. São Paulo: USP. 2000. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências.

Soares filho AO. *Fitogeografia e Estruturas das Florestas Estacionais do Brasil*. Feira de Santana: UEFS. 2012, 346 p. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade Estadual de Feira de Santana.

Trumbore S, Camargo PB de. Soil carbon dynamics. In: Keller M, Bustamante M, Gash J, Dias PS. (Ed.). *Amazonia and Global Change*. Washington: American Geophysical Union, 2009.

Vasconcelos HL, Luizão FJ. Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented Amazonian landscape 2004. *Ecological Application* 14:884-892.

Vidal MM, Pivello VR, Meirelles ST, Metzger JP. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. *Revista Brasileira de Botânica* 2007, 30(3): 521-532.

Vogel HLM, Lorentz LH, Azevedo JVS, Rott LAG, Motta MSM da. Efeito de borda no estoque de serapilheira e nutrientes em um fragmento de floresta nativa na região do bioma Pampa-RS. *Revista Ecologia e Nutrição Florestal* 2013, 1(1): 46-54.

Walkley A, Black IA. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 1934, 37:29–38.

Zinn YL, Lal R, Resck DVS. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. *Geoderma* 2005, 127, p.168-173.