

Queimada e usos do solo na atividade e biomassa microbiana

Burning and soil use in microbial activity and biomass

Rosemery Alesandra Firmino dos Santos¹, Stallone da Costa Soares², Tiago Cavalcante da Silva³, Geocleber Gomes de Sousa⁴, Daniela Queiroz Zuliani⁴, Susana Churka Blum⁴

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a biomassa e a atividade microbiana em diferentes usos do solo. Para isso, foram coletadas amostras de solo em quatro áreas de uso: área experimental da fazenda (AEF), sistema agroflorestal (SAF), área queimada (AQ) e mata (MT), todas localizadas na comunidade Piroás, município de Redenção, Estado do Ceará. As profundidades de coleta foram 0-10; 10-20; e 20-30 cm. Foram determinadas a respiração basal (RBS), o carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e calculados os quocientes metabólico (qCO₂) e microbiano (qMIC). Houve interação entre os fatores uso e a profundidade do solo apenas para qCO₂. A respiração basal foi maior na área queimada (31%) e na mata (29%). Não houve diferença entre as áreas para o carbono da biomassa microbiana. Maiores valores de RBS e C-BMS do solo foram encontrados na profundidade 0-10 cm. A área de mata apresentou maior valor de qMIC com diferença significativa em relação à área queimada. O quociente microbiano foi a variável que permitiu identificar o efeito da queimada no solo.

Palavras-chave: Indicadores biológicos. Manejo do solo. Qualidade do solo.

ABSTRACT: Biomass and microbial activity in different soil uses are evaluated. Soil samples were collected in different usage areas: experimental area in a farm (AEF), agriculture-forest system (SAF), burnt area (AQ) and forest (MT), in Piroás, municipality of Redenção CE Brazil. Soil depths were 0-10; 10-20; 20-30 cm. Basal respiration (RBS), carbon of microbial biomass (C-BMS) and the metabolic (qCO₂) and microbial (qMIC) quotients were calculated. Interaction occurred between factors used and soil depth only for qCO₂. Basal respiration had a greater rate in the burnt area (31%) and in the forest (29%). There was no difference between areas for microbial biomass carbon. Higher rates in RBS and C-BMS of soil occurred at depth 0-10 cm. Forest area had a higher qMIC rate, with significant difference to the burnt area. Microbial quotient was the variable that identified the effect of burning in the soil.

Keywords: Biological indicators. Soil management. Soil quality.

Autor correspondente:

Stallone da Costa Soares: stallonesoares@hotmail.com

Recebido em: 22/05/2020

Aceito em: 22/05/2021

¹ Doutoranda em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo/ ESALQ-USP, Piracicaba (SP), Brasil.

² Doutorando em Agronomia - Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica (RJ), Brasil.

³ Doutorando em Ciência do Solo, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife (PE), Brasil.

⁴ Professor(a) do Instituto de Desenvolvimento Rural da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira (UNILAB), Redenção (CE), Brasil.

INTRODUÇÃO

O modelo de agricultura itinerante ou migratório vem sendo aplicado no bioma Caatinga desde a época da colonização, onde o agricultor realiza o desmatamento da área, seguido da queima. Após o uso da área por um determinado tempo e a consequente queda da sua fertilidade, é deixada em repouso para a recuperação de sua capacidade produtiva (NUNES *et al.*, 2009).

Os benefícios que justificam a utilização dessas práticas por parte dos agricultores são o baixo custo, o enriquecimento do solo pela cinza e os efeitos dela no pH e na disponibilidade de bases necessárias à nutrição das plantas (MOURA, 2004; FREITAS *et al.*, 2013). No entanto a perda da matéria orgânica do solo constitui um dos efeitos negativos da queimada, influenciando diretamente as características biológicas, físicas e químicas do solo (OLIVEIRA; SILVA, 1994).

Assim, a avaliação da qualidade dos solos submetidos à queimada, bem como a comparação com outros usos que podem servir como substitutos, pela mensuração de indicadores biológicas, físicos e químicos, consiste num importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental, pois permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras, especialmente quando adotada a vegetação nativa original como referência (CARDOSO *et al.*, 2011).

Geralmente, os indicadores químicos do solo são utilizados para explicar mudanças ocorridas em sistemas agrícolas com uso da queimada (POMINOSKI *et al.*, 2006; NUNES *et al.*, 2006; DICK *et al.*, 2008; RAU *et al.*, 2009; AREF *et al.*, 2011; TAVARES FILHO *et al.*, 2011; SIMON *et al.*, 2016; SIGNOR *et al.*, 2016). No entanto, os indicadores microbiológicos do solo podem ser de maior utilidade, pois estão intimamente ligados aos ciclos biogeoquímicos e os micro-organismos do solo apresentam grande sensibilidade às alterações que possam ocorrer nesse ambiente (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Dentre os principais indicadores microbiológicos utilizados para avaliar a qualidade do solo, destaca-se o carbono da biomassa microbiana. A biomassa microbiana do solo (BMS) consiste na fração viva da matéria orgânica do solo composta por fungos, actinobactérias, bactérias e algas (JENKINSON; LADD, 1981). Dentre as demais funções que essa fração desempenha é possível destacar a decomposição dos compostos orgânicos, ciclagem de nutrientes, fluxo de energia do solo, solubilização de nutrientes como o fósforo (SILVA *et al.*, 2010), controle biológico de patógenos e degradação de compostos xenobióticos e de poluentes (KASCHUK *et al.*, 2009). Entretanto, sua medida por si só mostra-se pouco informativa, ficando evidente a necessidade do uso de outros indicadores que contribuam com seu potencial de bioindicação dos efeitos de distúrbios ocorridos no sistema, a exemplo da respiração do solo, quociente metabólico e microbiano (ARAÚJO, 2014).

O quociente metabólico reflete a eficiência dos micro-organismos na utilização de substratos, sendo os menores valores correspondentes a uma maior eficiência ou que o carbono

está sendo incorporado na biomassa. Quando os valores deste atributo são maiores, entende-se que maior quantidade de carbono está sendo perdida na forma de CO₂ (SILVA *et al.*, 2007), sugerindo que o ecossistema está sendo submetido a alguma condição de estresse ou distúrbio (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O quociente microbiano (qMIC) representa a relação entre o carbono microbiano e o carbono orgânico total. Essa relação fornece informações sobre a qualidade da matéria orgânica e a quantidade de carbono imobilizado pela biomassa microbiana (BANNING *et al.*, 2008).

Estudos realizados em áreas de cana-de-açúcar com uso da queimada, bem como em áreas de agricultura de corte e queima no bioma caatinga observaram modificação nos indicadores biológicos do solo como aumento da respiração e do quociente metabólico e redução no carbono da biomassa microbiana (EVANGELISTA *et al.*, 2013; NUNES *et al.*, 2009). Com essas informações acredita-se que a análise desses indicadores poderá auxiliar na observação da influência do manejo do solo sob os atributos microbiológicos do solo.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi avaliar indicadores microbiológicos de solos submetidos a diferentes usos na região do Maciço de Baturité, Ceará.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas utilizadas para este estudo estão localizadas na Comunidade Piroás pertencente ao município de Redenção, situado na região do Maciço de Baturité, Ceará. O clima da região é o BSh segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical semiárido, muito quente, com chuvas concentradas no verão. Na Figura 1, encontram-se os valores da precipitação média mensal durante o ano de 2016.

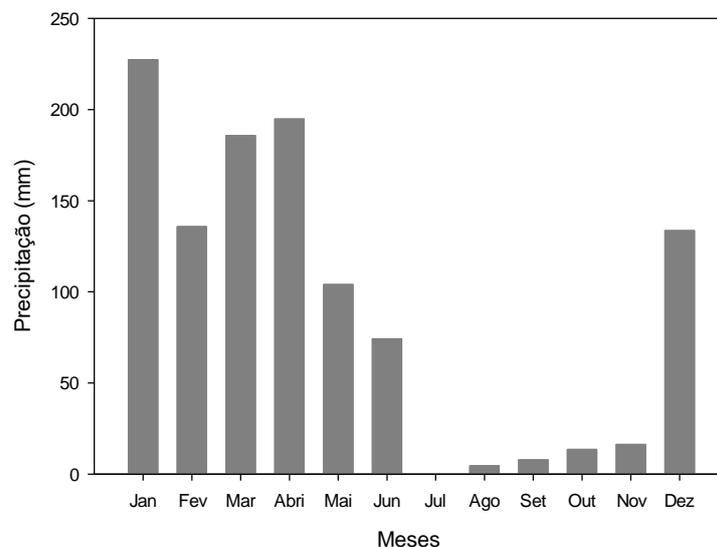


Figura 1. Valores de precipitação pluviométrica registradas em 2016, na fazenda experimental Piroás, Redenção (CE).

O experimento foi analisado segundo delineamento inteiramente causalizado (DIC) em arranjo fatorial do tipo 4 x 3, constituído de 4 áreas de diferentes sistemas de manejo: Área experimental da fazenda (AEF), Sistema agroflorestal (SAF), Área queimada (AQ) e Mata (MT), e três profundidades (00-10, 10-20 e 20-30 cm), com três repetições, totalizando 36 unidades experimentais. As áreas SAF, AEF e MT estão localizadas nas dependências da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira (UNILAB), situada nas coordenadas geográficas 04° 15' 55''S e 38° 79' 37''O, a 240 m de altitude e a AQ está localizada em uma área próxima da fazenda.

Os solos das áreas foram classificados segundo Santos *et al.* (2018) como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico. A coleta das amostras deformadas foi realizada nos meses de novembro e dezembro de 2016 com o auxílio de um amostrador, do tipo trado holandês e as características químicas analisadas em cada área encontram-se dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química das áreas de manejo, área experimental da fazenda (AEF), sistema agroflorestal (SAF), área queimada (AQ), mata (MT) em diferentes profundidades

ÁREAS	Prof. cm	pH	P --mg/dm ³ --	K ⁺	N -----g/kg-----	COT	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al -----cmol _c /dm ³ -----	SB	CTC	V %
AEF	0-10	5,85	15,37	8,94	0,30	17,58	2,44	1,63	0,16	1,42	4,09	4,22	74,41
	10-20	5,39	8,32	6,96	0,22	15,5	2,14	1,87	0,24	1,42	4,05	4,29	74,07
	20-30	5,65	6,85	4,77	0,18	12,31	1,90	1,26	0,16	1,38	3,19	3,35	69,77
SAF	0-10	5,59	5,05	7,14	0,34	18,08	2,11	1,72	0,56	2,64	3,85	4,41	59,25
	10-20	5,32	3,03	4,16	0,23	12,69	2,80	2,65	0,94	2,83	5,56	6,50	69,96
	20-30	5,45	2,66	4,72	0,27	11,75	3,91	4,27	1,26	2,71	8,21	9,47	75,07
AQ	0-10	6,21	14,41	18,5	0,43	24,29	5,85	1,37	0,14	1,92	7,27	7,41	79,30
	10-20	5,31	5,22	11,06	0,27	19,27	3,98	1,09	0,22	2,44	5,11	5,33	67,82
	20-30	5,44	6,84	5,11	0,26	17,83	3,49	1,36	0,26	2,05	4,88	5,14	70,60
MT	0-10	5,72	3,34	5,17	0,31	14,69	5,42	1,86	0,18	1,65	7,31	7,49	81,59
	10-20	5,91	2,38	4,75	0,35	12,95	5,14	1,83	0,18	1,55	6,99	7,17	81,85
	20-30	6,02	2,04	4,17	0,27	11,26	5,98	1,86	0,18	1,18	7,86	9,04	86,9

Prof. - Profundidade; pH em água (1:2,5); P - Extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ - Acetato de Amônio; H+Al - Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7; Al³⁺ - KCl 1mol/L, COT - carbono orgânico total, SB - soma de bases, CTC - Capacidade de troca de Cátions efetiva V - saturação por bases. Fonte: Silva (2018).

A AEF é utilizada para realização de pesquisas experimentais. Recentemente, a área foi utilizada para o cultivo de girassol, variedade Embrapa 122-V2000, submetida a doses de N utilizando adubo orgânico: 0, 29, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹. A aplicação dos compostos orgânicos foi realizada no sulco de semeadura distanciada de 0,7 m. Inicialmente, foi aplicada casca de arroz carbonizada para suprir 20% do N. Em seguida, foi aplicada cama de frango sobre a casca de arroz para suprir 80% do N. Após colheita dos grãos do girassol foi implantado o sistema de consórcio com arroz e feijão. Para isso, parte do arroz foi cultivado no sulco adubado anteriormente e a outra metade o cultivo sem efeito residual. O feijão foi semeado 30 dias após o arroz, nas entrelinhas.

A área de SAF, que anteriormente se encontrava em pousio, passou por um processo de restabelecimento vegetal. Após seis anos sem intervenção antrópica, no ano de 2016 foi instalado um sistema agroflorestal. As espécies cultivadas na área, com o objetivo de enriquecimento do sistema agroflorestal, foram: milho (*Zea mays*), fava (*Phaseolus lunatus*) e arroz (*Oriza sativa*). Na área predominam as seguintes espécies arbóreas e arbustivas: Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth), Jiquiri (*Mimosa arenosa* (Wild) Poir), Cassaco (*Piptadenia stipulacea* (Benth) Ducke), Feijão Bravo (*Cynophalla flexuosa* (L.) J. Presl), Marmeleiro (*Croton blanchatianus* Bail) e Mororó (*Bauhinia urguiculata* L.).

A AQ está localizada próxima à fazenda Piroás (UNILAB), inserida na propriedade de um produtor da comunidade. A área se encontrava em pousio há nove anos e nela encontravam-se arbustos característicos da região, a exemplo de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth) no processo de reflorestamento. A queimada foi realizada entre os meses de setembro a novembro de 2016 para o plantio de milho, feijão e arroz.

A área de MT (Capoeira) está inserida na fazenda Piroás-UNILAB, é caracterizada por apresentar traços de mata atlântica e caducifólia e não sofre de intervenção antrópica há 20 anos. No momento da coleta encontrava-se na área espécies como: pinha (*Annona squamosa* L.), mamona (*Ricinus communis* L.), jatobá (*Hymenaea* sp), jurubeba (*Solanum paniculatum*), pau-d'arco amarelo (*Tabebuia serratifolia*), carnaúba (*Copernicia prunifera* Mill.), mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth), jiquiri (*Mimosa arenosa* (Wild) Poir), cassaco (*Piptadenia stipulacea* (Benth) Ducke), feijão-bravo (*Cynophalla flexuosa* (L.) J. Presl), marmeleiro (*Croton blanchatianus* Bail), mororó (*Bauhinia urguiculata* L.), entre outras (SOARES *et al.*, 2019).

A análise do carbono orgânico total (COT) seguiu metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988), e adaptada por Mendonça e Matos (2005), na qual a oxidação da matéria orgânica é realizada via úmida. Para tal procedimento foi tomada uma porção de TFSA (<2 mm) e posteriormente retirado 0,5 g dessa porção. Em seguida, foram adicionados 5 mL da solução de dicromato de potássio e 7,5 mL de ácido sulfúrico concentrado para oxidar o carbono presente nas amostras. Após a oxidação do carbono, o dicromato remanescente foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal, utilizando a solução de ferroin como indicadora.

A atividade microbiológica do solo foi avaliada pela determinação da respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (C-BMS), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC). A RBS foi obtida pela captura do CO₂ liberado do solo por NaOH, seguindo o método descrito por Alef (1995).

A análise do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi realizada pelo método da fumigação-extração (VANCE *et al.*, 1987), adotando-se o fator de correção para eficiência de extração (kec) igual a 0,33 (SPARLING; WEST, 1988). O quociente microbiano (qMIC), expresso em porcentagem, foi calculado pela fórmula (C-BMS/COT) x 100 e o

quociente metabólico (qCO_2) foi obtido pela divisão dos valores da respiração basal e do carbono da biomassa microbiana do solo (RBS/C-BMS) (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

Os dados obtidos no presente estudo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p < 0,05$ e $p < 0,01$) e as médias dos fatores isolados e das interações quando significativos foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Para isso, foi utilizado o programa ASSISTAT versão 7.7.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da ANOVA (Tabela 2) para os atributos microbiológicos do solo analisados indicaram interação significativa entre os dois fatores estudados (uso do solo *versus* profundidades) para a variável quociente metabólico ao nível de 5%. A respiração basal (RBS) e o quociente microbiano ($qMIC$) apresentaram efeito significativo para as áreas de uso a 1% e 5% de significância, respectivamente. Quanto à profundidade, a RBS e C-BMS apresentaram efeito significativo a 1% e 5%, respectivamente.

Tabela 2. Respiração Basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$) das diferentes áreas de uso e profundidades do solo

Fatores	RBS	C-BMS	qCO_2	$qMIC$
Quadrados médios				
Uso do solo	0,340**	6343,02 ^{ns}	6,105 ^{ns}	1,221*
Profundidade	0,132**	24289,75*	6,144 ^{ns}	0,041 ^{ns}
A x P	0,026 ^{ns}	6578,35 ^{ns}	7,873*	0,796 ^{ns}
Áreas				
	C-CO ₂ mg kg ⁻¹ , solo h ⁻¹	C-BMS, mg kg ⁻¹ solo	C-CO ₂ , mg g ⁻¹ C-BMS h ⁻¹	%
AEF	0,643 b	258,507 a	2,511 a	1,887 ab
SAF	0,551 b	204,167 a	4,282 a	1,537 ab
AQ	0,962 a	236,458 a	4,234 a	1,198 b
MT	0,884 a	261,806 a	3,634 a	2,016 a
Profundidade (cm)				
0-10	0,880 a	285,547 a	3,191 a	1,726 a
10-20	0,697 b	239,583 ab	3,315 a	1,639 a
20-30	0,701 b	195,573 b	4,488 a	1,615 a
CV (%)	19,87	28,19	40,25	34,55

AEF: Área Experimental da Fazenda; SAF: Sistema Agroflorestal; AQ: Área Queimada e MT: Mata.

** significativo ao nível de 1%; * significativo ao nível de 5% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os usos e as profundidades avaliadas influenciaram a respiração basal do solo. O solo apresentou maior atividade microbiana para a AQ e MT, na profundidade 0-10 cm. As áreas

AQ e MT diferiram da AEF e SAF (Tabela 2). Esses maiores valores de respiração na camada de 0-10 cm podem ser resultantes tanto do acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis (carboidratos, compostos nitrogenados e a própria biomassa microbiana e seus metabólicos) na superfície do solo, bem como podem ser o reflexo de um consumo intenso de carbono oxidável pela população microbiana para a sua manutenção, em circunstâncias em que a biomassa microbiana se encontra sob algum fator de estresse (NUNES *et al.*, 2009). Pelos valores da Tabela 1, a profundidade 0-10 cm apresentou maiores valores de COT, o que justifica a maior RBS do solo.

A AQ esteve durante nove anos em pousio, o que contribuiu para aporte de carbono do solo pela biomassa vegetal presente na área antes da queimada. Após a queimada é comum que ocorra aumento na taxa respiratória, na tentativa de buscar novamente o equilíbrio, porém, nem sempre esse fato indica que está ocorrendo aumento na atividade microbiana (VIEIRA *et al.*, 2016).

A maior atividade microbiana na MT é consequência da maior quantidade do carbono da biomassa microbiana (LOURENTE *et al.*, 2011), proporcionada pelas condições mais favoráveis à microbiota do solo, como o aporte contínuo e variado de substratos orgânicos (SILVA *et al.*, 2010). Por outro lado, a ocorrência de altas temperaturas acelera a decomposição da matéria orgânica do solo disponível ocorrendo, assim, a diminuição da oferta de compostos mineralizáveis para os micro-organismos, aumentando a competição por fontes de carbono, o que pode causar estresse na comunidade microbiana (EVANGELISTA *et al.*, 2013). Essa situação pode ter ocorrido na área de MT, que mesmo sendo uma área com alto aporte de resíduos, o teor de carbono do solo foi menor da AQ. Para AEF e SAF, encontrou-se menores valores de RBS, onde a qualidade do substrato disponível pode ter influenciado tal resultado.

A maior atividade microbiana também foi observada em área onde foi realizada queimada e na mata nativa (NUNES *et al.*, 2009), semelhante aos resultados encontrados neste estudo. Pinto (2014) em seu estudo verificou que a respiração basal do solo foi favorecida pelas características da área de corte queima e de mata nativa, e proporcionaram maiores valores de C-CO₂, sendo os resultados encontrados maiores ($p < 0,05$) aos demais agroecossistemas avaliados (monocultura de soja, cultivo em aleias, pastagem).

O C-BMS não foi influenciado pelos usos do solo (Tabela 2), devido às características gerais das áreas, pois como indicado na Tabela 1 apresentam boas condições de fertilidade do solo. O C-BMS foi maior na profundidade de 0-10 cm para todos os usos, seguindo a seguinte ordem MT>SAF>AEF>AQ de acordo com a diminuição do aporte de resíduos orgânicos no solo. O maior teor de C-BMS na área da mata nativa resulta da preservação dos agregados do solo protegendo internamente os micro-organismos do solo (EVANGELISTA *et al.*, 2013). A área de SAF apresentou maior variação de C-BMS entre as profundidades.

A biomassa microbiana do solo é influenciada pelo clima, aeração do solo, disponibilidade de nutrientes e pela quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo

(SOUZA *et al.*, 2010). Embora a prática da queima dos restos vegetais possa ter efeito deletério sobre a comunidade biológica, visto que a maior parte dela está localizada nas camadas superficiais, menos protegidas do efeito isolante térmico do solo, ela pode ter um efeito positivo, resultando em efeito líquido benéfico (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Nesse sentido, o fato do C-BMS da área queimada não ter diferido da área de mata, pode ser explicado pelo maior suprimento de carbono orgânico total nessa área (Tabela 1).

Ao avaliar os indicadores químicos e biológicos do solo em área de cana-de-açúcar com queima e sem queima da palhada Mendonza *et al.* (2000) verificaram que o C-BMS apresentou maiores valores na área em que não houve a queima, o que corrobora o resultado encontrado neste trabalho. Nunes *et al.* (2009) encontraram maiores valores de C-BMS na mata nativa e na área com cinco anos de pousio, ou seja, em solos que não foram submetidos a queima.

A biomassa microbiana diminuiu com a profundidade do solo, com valores diferentes ($p < 0,05$) para as profundidades 0-10 cm e 20-30 cm (Tabela 2). Esse resultado é explicado pela maior quantidade de substrato orgânico nas camadas mais superficiais.

O quociente metabólico representa a quantidade de C-CO₂ liberado por unidade da biomassa microbiana por unidade de tempo e pode indicar comunidades microbianas em estágio inicial de desenvolvimento, alta atividade microbiana, ou ainda populações microbianas sob algum tipo de estresse (ANDERSON; DOMSCH, 1990). O valor de qCO₂ não diferiu ($p > 0,05$) entre os usos e nem nas profundidades (Tabela 2).

Houve interação entre os fatores uso do solo e profundidade para qCO₂ (Tabela 3). O SAF foi a única área a apresentar diferença em relação às profundidades, tendo apresentado maior valor de qCO₂ na profundidade de 20-30 cm (Tabela 3). No entanto, SAF apresentou menor C-BMS nesta profundidade. Uma área com menor COT e maior qCO₂ mostra que apesar da limitação de fontes de carbono, os micro-organismos consomem mais energia para manutenção (NUNES *et al.*, 2009).

Tabela 3. Quociente metabólico (qCO₂) sob diferentes usos e profundidades do solo

Áreas	Profundidades		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
	mg C-CO ₂ g ⁻¹ C-BM h ⁻¹		
AEF	3,270 aA	2,097 aA	2,165 bA
SAF	1,985 aB	3,105 aB	7,753 aA
AQ	4,274 aA	4,303 aA	4,122 bA
MT	3,234 aA	3,755 aA	3,912 bA

AEF: Área Experimental da Fazenda; SAF: Sistema Agroflorestal; AQ: Área Queimada e MT: Mata. Médias seguidas de mesma letra, minúsculas para as colunas e maiúsculas para as linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Valores mais elevados de qCO₂ normalmente são associados com ecossistemas jovens, submetidos a alguma condição de estresse onde os micro-organismos podem perder o carbono

em forma de respiração, enquanto menores valores, normalmente, são associados com ecossistemas maduros e estáveis (SILVA *et al.*, 2010). Isso está relacionado com os resultados encontrados neste trabalho, pois o SAF tem pouco tempo de implantação. Outros trabalhos também verificaram maiores valores de qCO_2 em áreas que passaram por alguma intervenção, como uso da queimada de (NUNES *et al.*, 2009; PAREDES JUNIOR *et al.*, 2015).

O uso do solo influenciou no $qMIC$, tendo encontrado maior valor para MT. A MT apresentou diferença significativa em relação a AQ (Tabela 2). Quanto às profundidades, estas não afetaram o $qMic$ (Tabela 2). Maiores valores de $qMic$ foram encontrados na profundidade 0-10 cm para MT e SAF, enquanto para AEF e AQ o $qMic$ apresentou maiores valores na profundidade 20-30 cm.

O quociente microbiano representa o quanto de carbono orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana. Mudanças no $qMIC$ refletem o padrão de entrada da matéria orgânica no solo e indicam se o carbono está em equilíbrio, ou se está sendo acumulado ou reduzido (ANDERSON; DOMSCH, 1990). Quando a capacidade de utilização é menor, o $qMIC$ diminui, principalmente em situações em que a biomassa microbiana encontra-se sob algum fator de estresse como deficiência de nutrientes, acidez, deficiência hídrica (WARDLE, 1994).

Dessa forma, o maior valor de $qMIC$ na MT pode estar relacionado com a quantidade e qualidade da matéria orgânica da área, pois por ser uma área sem intervenção antrópica, pode ocorrer estoque de matéria orgânica, visto que a adição supera a retirada e com o aumento da biomassa microbiana nessa área o $qMIC$ tende a aumentar.

O menor valor $qMIC$ ou menor quantidade de carbono incorporado na biomassa na área queimada, pode ser explicado pela alta atividade microbiana. A quantidade do CO_2 emitido está relacionada à capacidade de degradação da matéria orgânica pela microbiota heterotrófica (EPRON *et al.*, 2006), assim pouco carbono está sendo incorporado na biomassa. Nunes *et al.* (2009) encontraram maior valor de $qMIC$ na mata nativa e na área de pousio e os autores justificaram que a dinâmica da matéria orgânica no sistema com queima é bem mais lenta, visto que a queimada elimina a cobertura vegetal, excluindo a entrada de material orgânico, tanto na parte aérea como no sistema radicular.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da área queimada ter apresentado altos valores de C-BMS, os resultados de $qMic$ e qCO_2 demonstram que este carbono está sendo perdido devido a maior atividade microbiana.

O quociente metabólico e microbiano foram os melhores indicadores microbiológicos para explicar a diferença entre a área queimada e as outras áreas, demonstrando a importância deles em relação ao uso apenas do C-BMS e da RBS.

É importante que os trabalhos que avaliem as alterações nos atributos microbiológicos do solo em áreas onde foi realizada queimada adotem um monitoramento da recuperação da comunidade microbiológica no tempo, podendo explicar melhor os resultados do C-BMS.

REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biogeochemistry*. London, San Diego: **Academic Press**, 1995. 576p.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ARAÚJO, J. L. **Artrópodes e atributos microbiológicos do solo em cultivo de fruteiras no Vale do Curu-CE**. 2014. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- AREF, I. M.; ATTA, H. A.; GHAMADE, A. R. Effect of forest fires on tree diversity and some soil properties. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 13, n. 5, p. 659-664, 2011.
- BANNING, N. C.; GRANT, C. D.; JONES, D. L.; MURPHY, D. V. Recovery of soil organic matter, organic matter turnover and nitrogen cycling in a post-mining forest rehabilitation chronosequence. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 8, p. 2021-2031, 2008.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal Sul Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 613-622, 2011.
- DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R. S. D.; JACQUES, A. V. Á.; MIELNICZUK, J.; ROSA, A. S. Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 633-640, 2008.
- EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; PIRES, F. R. Atributos microbiológicos do solo na cultura de cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1549-1562, 2013.

- FREITAS, I. D. C.; SANTOS, F. C. V.; CUSTÓDIO FILHO, R. O.; CORRECHEL, V.; SILVA, R. B. Agroecossistemas de produção familiar da Amazônia e seus impactos nos atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1310-1317, 2013.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. v. 5. p. 415-471.
- KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2009.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.
- MENDONZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 201-207, 2000.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006.
- MOURA, E. G. **Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar**. In: MOURA, E. G. (org.). **Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: UEMA, p. 15-51, 2004.
- NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 200-208, 2006.
- NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos microbiológicos de solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 131-140, 2009.
- OLIVEIRA, M.; SILVA, I. L. Efeitos do fogo sobre o solo. **Floresta e Ambiente**, p. 142-145, 1994.
- PAREDES JUNIOR, F. P.; PORTILHO, I. I. R.; MERCANTE, F. M. Atributos microbiológicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 151-164, 2015.
- PINTO, C. R. O. **Efeito do uso do solo sobre seus atributos na microrregião de Chapadinha-MA**. 2014. 85 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2014.

RAU, B. M.; JOHNSON, D. W.; BLANK, R. R.; CHAMBERS, J. C. Soil carbon and nitrogen in a Great Basin pinyon-juniper woodland: influence of vegetation, burning, and time. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 4, p. 472-479, 2009.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

SIGNOR, D.; CZYCZA, R. V.; MILORI, D. M. B. P.; CUNHA, T. J. F.; CERRI, C. E. P. Atributos químicos e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar com e sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1438-1448, 2016.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 275-357, 2007.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, T. C. **Alterações nos atributos químicos de um argissolo vermelho amarelo sob diferentes sistemas de manejo no maciço de Baturité, Ceará**. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SIMON, C. A.; RONQUI, M. B.; ROQUE, C. G.; DESENSO, P. A. Z.; SOUZA, M. A. V.; KUHN, I. E.; CAMOLESE, H. S.; SIMON, C. P. Efeitos da queima de resíduos do solo sob atributos químicos de um Latossolo vermelho distrófico do cerrado. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 4, p. 217-221, 2016.

SOARES, S. da C.; SOUSA, G. G.; SILVA, T. C.; SANTOS, R. A. F.; BLUM, S. C.; VIANA, T. V. A. Atributos químicos de um argissolo vermelho-amarelo influenciado pela queimada após 9 anos de pousio no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 3, 2019.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. **Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, R. R. M.; FERREIRA, V. M. Fertilidade química de solo sob pastagens formadas com diferentes espécies nativas e com *Brachiaria decumbens* manejadas com queimadas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1771-1782, 2011.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VIEIRA, A. C.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; GUIMARÃES, M. C.; FREITAS, M. S.; PECORARO, D. Fogo e seus efeitos na qualidade do solo de pastagem. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 1703-1711, 2016.

WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação de biomassa microbiana do solo. *In*: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 419-436.