

# ALTERAÇÕES MICROBIANAS E QUÍMICAS DE UM GLEISSOLO SOB MACAUBEIRAS NATIVAS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL

## MICROBIAL AND CHAMICAL CHANGES IN GLEYSOL UNDER NATIVE MACAUBA PALMS BY THE SPATIAL AND SEASONAL VARIATIONS

Lídia Tarchetti DINIZ<sup>1</sup>; Maria Lucrecia Gerosa RAMOS<sup>2</sup>; Lúcio José VIVALDI<sup>3</sup>; Cristina Miranda de ALENCAR<sup>4</sup>; Nilton Tadeu Vilela JUNQUEIRA<sup>5</sup>

1. Estudante de Doutorado em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAV, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, Brasil. ltarchetti@gmail.com; 2. Professora, Doutora, FAV – UnB, Brasília, DF, Brasil. 3. Professor, Doutor, Departamento de Estatística – UnB, Brasília, DF, Brasil; 4. Professora Visitante da FAV - UnB, Brasília, DF, Brasil; 5. Pesquisador da EMBRAPA Cerrados, Planaltina, DF, Brasil,

**RESUMO:** A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma alternativa para a produção de biodiesel e, consorciada com pastagem, pode auxiliar na recuperação de áreas degradadas. O objetivo deste trabalho foi estudar as alterações nos atributos microbiológicos, na matéria orgânica e no N total do solo, em função da variação sazonal e espacial em um Gleissolo sob maciço de macaubeiras nativas, no Cerrado. O estudo observacional foi realizado na região de Planaltina de Goiás, na Fazenda Agropecuária Santa Fé. Foram selecionadas dez árvores em uma mata com macaubeiras nativas no bioma cerrado. A coleta de solo foi realizada na camada de 0 a 10 centímetros de profundidade, sob uma linha horizontal, imaginária, traçada a partir da base do caule das macaubeiras. As amostras de solo foram coletadas a 50, 150 e 250 centímetros de distância do caule da palmeira, durante o verão chuvoso (março de 2010) e inverno seco (julho 2010). Para a avaliação estatística das variáveis observadas, utilizou-se um modelo misto. As médias das variáveis observadas foram submetidas a testes para verificar se seguiam a distribuição normal, e a homogeneidade de variâncias. Em seguida, os dados foram submetidos ao teste F e as médias foram comparadas pelo teste t. Os atributos carbono microbiano (Cmic), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), a matéria orgânica do solo (MOS) e a relação C/N do solo são sensíveis à variação sazonal e espacial em mata de macaubeiras no Cerrado. O nitrogênio total (NT) foi sensível à variação espacial. A microbiota presente no solo sob macauba se manteve mais equilibrada durante o período seco, apresentando maiores teores de carbono microbiano e quociente microbiano e menor quociente metabólico e relação C/N do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade do solo. *Acrocomia aculeata*. Indicadores microbiológicos. Matéria orgânica. Biodiesel.

## INTRODUÇÃO

Para a produção de biocombustíveis diversas espécies são utilizadas, com composição e rendimento energéticos variados. Os frutos das palmeiras são considerados matéria-prima alternativa para a produção de óleo vegetal em substituição à soja, e dentre elas cita-se a macaúba (*Acrocomia aculeata*), tipicamente brasileira e nativa de florestas tropicais. As macaubeiras apresentam características como adaptabilidade a regiões com restrições hídricas em certas épocas do ano, rusticidade, cultivo que pode ser usado para reflorestamento, recuperação de áreas degradadas, ou projetos urbanísticos, possibilidade de consórcio com gramíneas e leguminosas para a utilização na pecuária e aproveitamento completo dos frutos e sua produção estimada por hectare é de 4.000 L de óleo vegetal, 1.200 kg de carvão vegetal, e 5.300 kg de farelo para rações (MARISOLA FILHO, 2009).

Nesse contexto, faz-se necessário o estudo do ambiente de ocorrência dessa espécie, pois as

interações solo-planta-atmosfera determinam funções fundamentais nos ecossistemas terrestres e o entendimento delas é importante para direcionar as atividades antrópicas com foco na sustentabilidade da cadeia de produtos e co-produtos oriundos do coco macaúba.

São escassos os trabalhos que envolvem os atributos do solo, seu manejo e os prováveis impactos do cultivo comercial de macaubeiras na sustentabilidade agrícola. Além disso, a exploração de maciços naturais e o plantio de espécies em áreas com pastagens degradadas para fins de produção de óleo vegetal para o setor de biocombustíveis ainda são incipientes no Brasil.

Em seu estado natural, o solo encontra-se coberto pela vegetação, que o protege da erosão e contribui para manter o equilíbrio entre os fatores de sua formação e aqueles que promovem sua degradação. O rompimento dessa relação provoca alterações biológicas, químicas e físicas nas funções do solo e em sua capacidade produtiva (SIQUEIRA et al., 1994).

Diante do potencial de exploração econômica da macaúba nas áreas do Cerrado é necessária a avaliação da qualidade do solo sob esse sistema, para monitorar e controlar possíveis impactos que levem à degradação do solo.

As interações solo-planta-atmosfera determinam funções fundamentais nos ecossistemas terrestres. Devido à participação do carbono na constituição dos materiais orgânicos, os estudos sobre a dinâmica, caracterização e funções da MOS (matéria orgânica do solo) são realizados, principalmente, por meio do carbono orgânico total. As alterações na MOS influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tais como a agregação (SALTON et al., 2008); armazenamento de água (RESCK et al., 2008); capacidade de troca catiônica (CTC) (REIN; DUXBURY, 2008); e disponibilidade de nutrientes (ASHAGRIE et al., 2007) e são dependentes das condições do solo, clima e práticas culturais adotadas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

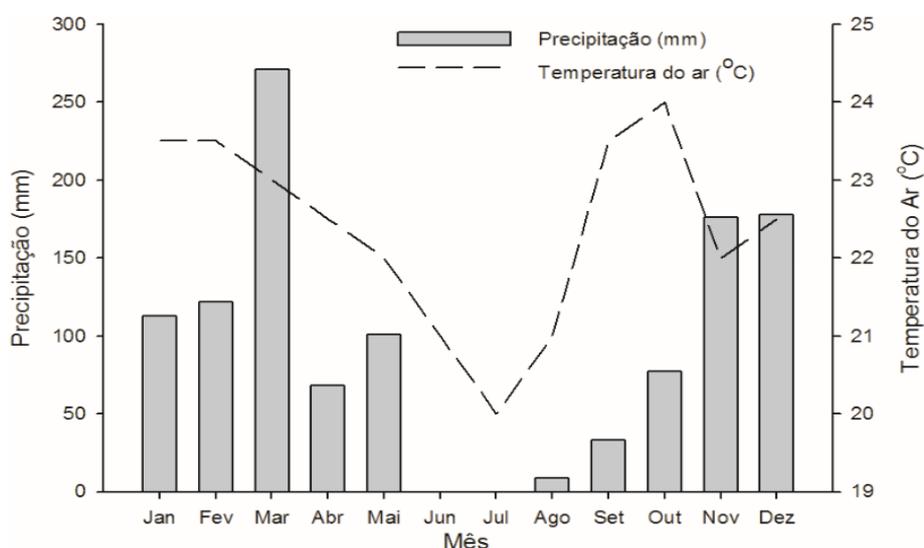
Além disso, os microrganismos do solo são importantes indicadores da qualidade do solo, pois respondem rapidamente a mudanças no solo pelas alterações no manejo. A atividade microbiana do solo reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes (TÓTOLA; CHAER, 2002). O manejo adequado dos solos, que contribua para aumentar ou conservar a sua qualidade, além de aumentar a produtividade do sistema de

produção, contribuirá para manter a boa qualidade ambiental (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar as alterações nos atributos microbiológicos, da matéria orgânica e N total do solo, em função da variação sazonal e espacial em um Gleissolo sob maciço de macaubeiras nativas, no cerrado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo observacional foi realizado na região de Planaltina de Goiás, na Fazenda Agropecuária Santa Fé (S15°20'35'' e W47°34'34''), Goiás, Brasil. É um maciço de macaubeiras nativas de ocorrência em formação savânica do bioma Cerrado, com vegetação do tipo palmeiral e subtipo macaubal, próxima à Mata de Galeria não inundável associada à pastagem (RIBEIRO; WALTER, 1998). O clima predominante corresponde ao tropical estacional de savana do tipo Aw, conforme classificação de Köppen, com temperatura média anual entre 18 °C e 28,5 °C. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.400 milímetros, concentrada entre os meses de outubro a março (Figura 1). A região apresenta duas estações bem definidas: estação seca e fria durante o inverno e estação chuvosa e quente durante o verão. A altitude é aproximadamente de 1017 metros e foi obtida pela média de dez pontos coletados na área com o auxílio de um GPS de navegação do tipo Garmin MAP 495.



**Figura 1.** Dados climáticos de precipitação média mensal (mm) e temperatura (°C) referentes ao ano de 2010, obtidas na estação principal da EMBRAPA/CPAC – Planaltina (GO).

O estudo foi realizado em um Gleissolo, textura média, fase Mata de Galeria não inundável em relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). As

propriedades físico-químicas do solo na camada 0 a 20 cm foram: argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) = 327; silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) = 250; areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ) = 423; pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) = 4,84; M.O. (g

$\text{kg}^{-1}$ ) = 32,3; P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 6,7;  $\text{K}^+$  ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 89;  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) = 2,84;  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) = 1,5;  $\text{H+Al}$  ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) = 6,1.

Na área estudada, foram selecionadas, ao acaso dentro da mata, dez macaubeiras, vigorosas com aproximadamente 10 metros de altura; isoladas em um raio de três metros da possível interferência de raízes de outras árvores e arbustos. De cada árvore, foi traçada uma linha imaginária, a partir da base do caule e foram coletadas cinco amostras de solo à esquerda e cinco à direita, perpendicularmente a esta linha, totalizando 10 subamostras para formar uma amostra composta. Foram coletadas amostras a 50, 150 e 250 centímetros de distância do estipe das palmeiras.

Foram coletadas amostras de 0 a 10 centímetros de profundidade, sendo 30 durante o verão chuvoso (março de 2010) e 30 no inverno seco (julho 2010), totalizando 60 amostras de solo. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e transportadas em caixa de isopor com gelo até o Laboratório de Microbiologia e Bioquímica do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (FAV/UnB-DF). Em seguida, uma porção de solo (aproximadamente 300 g) de cada amostra foi separada, acondicionada em saco plástico identificado e mantida sob refrigeração a aproximadamente 4 °C até o momento das análises biológicas. A outra fração (500 g) destinada às análises químicas foi seca ao ar e tamisada em peneira com malha de abertura de dois milímetros para formar a terra fina seca ao ar (TFSA) e armazenada em sacos plásticos à temperatura ambiente até o momento das análises químicas. A biomassa microbiana do solo (BMS) foi estimada pelo método clorofórmio-fumigação-extração (CFE), proposto por Vance et al. (1987). O carbono microbiano foi obtido pela diferença entre o carbono extraído das amostras fumigas e o das amostras não fumigadas multiplicadas pelo fator de conversão ( $K_{EC} = 0,38$ ), conforme Wardle (1994). A atividade microbiológica foi avaliada pela respiração basal, pelo método de quantificação do dióxido de carbono ( $\text{C-CO}_2$ ) desprendido das amostras de solo não fumigadas em um período de sete dias (ALEF; NANNIPIERI, 1995). O quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) é a taxa de respiração específica da biomassa microbiana e foi calculado pela divisão da respiração basal ( $\text{C-CO}_2$ ) pelo carbono microbiano ( $\text{Cmic}$ ); (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

A partir dos resultados do carbono microbiano ( $\text{Cmic}$ ) e do carbono orgânico total ( $\text{Corg}$ ), foi calculada a relação entre o carbono microbiano e orgânico ( $q\text{Mic}$ ), definida como

quociente microbiano ( $q\text{Mic}$ ), expressa como o percentual de carbono microbiano em relação ao carbono orgânico total do solo. Essa relação fornece dados sobre a eficiência da conversão do carbono orgânico em carbono microbiano (SPARLING, 1992).

A matéria orgânica do solo (MOS) foi determinada a partir do teor de carbono orgânico total do solo quantificado por dicromatometria. Para o cálculo da matéria orgânica considerou-se que, o acúmulo de C na matéria orgânica humificada do solo é em torno de 58 %.

O teor de carbono orgânico total do solo ( $\text{Corg}$ ) foi determinado pelo método Walkley; Black (1934), e consiste na oxidação do carbono orgânico do solo pelo  $\text{Cr}^{6+}$  na presença de ácido sulfúrico concentrado e o excesso de íon cromo é titulado com sulfato ferroso amoniacal, conforme o manual de métodos de análises de solos (EMBRAPA, 1997). A eficiência do método é de 77 %, e para se obter valores reais de carbono orgânico do solo foi utilizado o fator de correção de 1,30.

O nitrogênio total no solo (NT) foi determinado de acordo com Bremner; Mulvaney (1982) pelo método Kjeldahl, em que o nitrogênio orgânico é convertido a íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), na presença de uma mistura digestora contendo ácido sulfúrico concentrado e sais catalisadores, e posteriormente é arrastado por vapor como amônia ( $\text{NH}_3$ ) e recolhido em meio ácido. A relação C/N é utilizada como indicativo da qualidade da matéria orgânica (STEVENSON; COLE, 1999), e foi calculada pela relação entre o carbono orgânico total ( $\text{Corg}$ ) e o nitrogênio total (NT).

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o seguinte modelo misto descrito em Littel et al. (1996):

$$y_{ijk} = \mu + A_i + E_j + (AE)_{ij} + H_k + (EH)_{jk} + A_i H_k (E_j) + \square_{ijk}$$

**Em que:**  $\mu$ : constante inerente às observações;

$A_i$ : efeito da árvore  $i$ ;

$E_j$ : efeito da época  $j$ ;

$(AE)_{ij}$ : efeito da interação árvore \* época;

$H_k$ : efeito da distância horizontal  $k$ ;

$(EH)_{jk}$ : efeito da interação época \* distância horizontal;

$A_i H_k (E_j)$ : efeito da interação árvore \* distância \* época, e

$\square_{ijk}$ : erro aleatório.

O efeito de árvore é aleatório e os demais são fixos.

Por se tratar de um estudo observacional e não de um experimento, não se conhece a estrutura das variâncias e covariâncias dos dados e por isso foi conduzido um estudo estatístico para indicar a melhor estrutura. Além disso, as médias das

observações de carbono microbiano, respiração basal, quocientes metabólico e microbiano, matéria orgânica, nitrogênio total e relação C/N foram submetidas a testes para verificar se seguiam a distribuição normal, e para verificar a homogeneidade de variâncias. As técnicas para os tratamentos das variáveis observadas estão descritas em Littel et al. (1996). O método de análise foi o de máxima verossimilhança restrita, descrito por Searle et al. (1992), via procedimento PROC MIXED do software SAS versão 9.1 (SAS, 2008) e as médias foram comparadas pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

Optou-se por esse modelo porque ele pode representar o que está ocorrendo com as variáveis observadas na natureza. Para a avaliação do estudo observacional, as árvores foram consideradas como os blocos (blocos casualizados), e os dados foram observados em duas épocas e em três distâncias para

se estudar o comportamento dos atributos microbianos do solo em relação ao efeito sazonal (avaliação em épocas contrastantes, verão e inverno seco) e espacial (avaliação em relação ao distanciamento horizontal do estipe das palmeiras).

Foi feita a correlação de Pearson, utilizando-se os dados individuais de cada época de coleta e distância do caule, no verão e inverno.

Foi utilizado o programa Sigma Plot versão 10.1 para a elaboração das Figuras 1, 2 e 3.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos microbianos, químicos e suas relações foram influenciados pelas épocas de coleta (verão chuvoso e inverno seco) e pelo distanciamento (50, 150 e 250 cm) em relação à base do caule das macaubeiras (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores de F da análise de variância para carbono microbiano (Cmic); respiração basal (RB); quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e microbiano (qMic); matéria orgânica do solo (MOS), nitrogênio total (NT) e relação C/N, na camada 0 - 10 cm de um gleissolo, em épocas contrastantes a diferentes distâncias em relação ao caule de macaubeiras nativas.

	Cmic	RB	$qCO_2$	qMic	MOS	NT	C/N
Valores de F e magnitude das significâncias <sup>2</sup>							
<b>Época (E)<sup>1</sup></b>	55,98 <sup>****</sup>	10,07 <sup>*</sup>	41,83 <sup>****</sup>	99,90 <sup>****</sup>	52,89 <sup>****</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	43,24 <sup>****</sup>
<b>Distância (D)</b>	5,69 <sup>**</sup>	32,04 <sup>****</sup>	6,30 <sup>**</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	7,85 <sup>**</sup>	9,73 <sup>***</sup>	0,76 <sup>ns</sup>
<b>E * D</b>	0,15 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	3,25 <sup>*</sup>

<sup>1</sup>Efeitos fixos: épocas de coleta (verão chuvoso e inverno seco); distâncias em relação ao caule das macaubeiras (50, 150 e 250 cm); interação (época \* distância); <sup>2</sup>Valores seguidos por: (\*\*\*\*), (\*\*\*), (\*\*), e (\*) mostraram efeitos, significativos a 0,01 ( $p < 0,0001$ ); 0,1 ( $p < 0,001$ ); 1 ( $p < 0,01$ ); e a 5 % ( $p < 0,05$ ), respectivamente; e (ns) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade para o teste F.

O carbono microbiano (Cmic), os quocientes metabólico ( $qCO_2$ ) e microbiano (qMic), a matéria orgânica (MOS) e a relação C/N foram altamente significativos para o efeito sazonal ( $p < 0,0001$ ), e a respiração basal foi significativa a  $p < 0,05$ . O nitrogênio total (N total) não se alterou ( $p > 0,05$ ) em função das épocas de coleta. Houve efeito espacial para os atributos microbianos (Cmic, RB e  $qCO_2$ ), e químicos (MOS e NT). O qMic não foi influenciado pelas coletas a diferentes distâncias da base do caule das macaubeiras e houve interação significativa entre as épocas de coleta e as distâncias do caule, somente para a relação C/N do solo (Tabela 1).

O carbono e o quociente microbianos aumentaram na época de menor disponibilidade hídrica (inverno seco) e a atividade microbiana, o quociente metabólico e o teor de matéria orgânica reduziram durante o mesmo período (Tabela 2). O NT não se alterou nas épocas avaliadas.

Neste estudo, o Cmic foi de 396,76 mg C  $kg^{-1}$  e 602,66 mg C  $kg^{-1}$  no verão e inverno, respectivamente, e estes valores estão dentro da variação relatada por outros autores, em estudos de solos sob florestas em diversas condições edafoclimáticas (FALL et al., 2012; CUNHA et al., 2012; ALVES et al., 2011; MAO; ZENG, 2010). Por outro lado, em solo sob cultivo de soja (PEREZ et al., 2004) e de citrus (FREITAS et al., 2009), foram obtidos valores inferiores aos do presente trabalho.

Por se tratar de um sistema sem interferência antrópica e que mantém o solo coberto pela liteira durante a época seca, conservando a umidade, isto pode ter promovido maiores valores de Cmic no inverno. Além disso, a menor relação C/N do solo encontrada na época seca pode ter disponibilizado mais nitrogênio à biomassa microbiana e imobilizado mais C e N em seu conteúdo celular, o que provocou maiores valores de qMic (2,50 %) nesta época do ano, além de menor

qCO<sub>2</sub> em relação à época chuvosa, indicando maior eficiência metabólica da microbiota do solo (Tabela 2).

O aumento do Cmic na época do inverno seco discorda de resultados apresentados por Fall et al. (2012), que verificaram menores valores para carbono microbiano durante a época seca e atribuíram esse resultado a menor disponibilidade

hídrica. A variação sazonal na biomassa microbiana é devido à variação no potencial de água e de substratos carbonáceos (FORD et al., 2007), além da distribuição das chuvas e a umidade do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 2005), do manejo do solo (PEREZ et al., 2004), adubação nitrogenada (COSER et al., 2007), dentre outros fatores.

**Tabela 2.** Carbono microbiano (Cmic), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e microbiano (qMic); matéria orgânica do solo (MOS) e nitrogênio total (NT), avaliados no verão e inverno, na camada 0 - 10 cm de um gleissolo sob macaubeiras nativas.

Atributos	Época do ano	
	Verão	Inverno
Cmic <sup>1</sup>	396,76b <sup>2</sup>	602,66a
RB	41,35a	32,82b
qCO <sub>2</sub>	0,11a	0,05b
qMic	1,24a	2,50b
MOS	56,41a	42,09b
NT	2,09a	2,06a

<sup>1</sup>Unidades dos atributos microbiológicos e químicos - (Cmic = (mg C kg<sup>-1</sup>); RB = (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>); qCO<sub>2</sub> = (mg C-CO<sub>2</sub> mg Cmic<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>); qMic = (%); matéria orgânica = (g C kg<sup>-1</sup>); nitrogênio total = (g N kg<sup>-1</sup>); <sup>2</sup>Médias seguidas pela mesma letra nas linhas, não diferem entre si, pelo teste t (p<0,05).

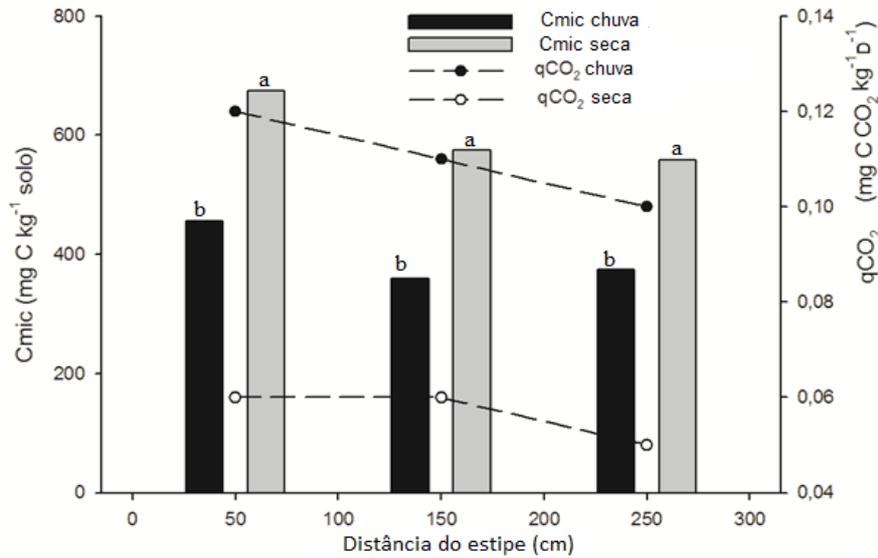
Mas, sabe-se que os Gleissolos apresentam limitações de oxigênio pelo excesso de água no solo (REATTO et al., 2004) e, possivelmente devido a maior umidade do solo no verão, aumentou a atividade microbiana e diminuiu o carbono microbiano do solo (Tabela 2).

Quando se estuda a comunidade microbiana em solos de mata ou vegetação nativa, já se espera encontrar valores relativamente maiores quando comparados a solos com outros tipos de cobertura como os solos cultivados, já que essa microbiota é favorecida pela cobertura vegetal que propicia maior acúmulo de material orgânico, fornecendo maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana (ALVES et al., 2011), além do fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, originados da vegetação Cunha et al. (2012). Tem-se observado que os teores de Cmic podem ser até 71% maiores no verão, para diferentes sistemas de uso do solo (LOURENTE et al., 2011). Durante a estação seca, parte da biomassa microbiana morre e, com a retomada das chuvas e incremento da umidade do solo, a biomassa sobrevivente utiliza matéria orgânica acumulada no

período, incluindo as células mortas, promovendo maior atividade microbiana durante o período chuvoso (PIAO et al., 2000). O efeito da temperatura também deve ser considerado, porque no verão, a elevação da temperatura e a maior precipitação pluviométrica favorecem o aumento da biomassa microbiana do solo (ESPÍNDOLA et al., 2001).

A relação inversa entre o carbono microbiano e o quociente metabólico (Figura 2), corrobora com os estudos de Frazão et al. (2010); Mao; Zeng (2010) e sugere que o solo do ecossistema está se tornando mais estável.

A maior atividade metabólica da biomassa microbiana no verão (41,11 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) expressa pela respiração basal (oxidação da matéria orgânica por microrganismos aeróbios do solo) e a menor eficiência metabólica (0,11 mg C-CO<sub>2</sub> mg Cmic<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) representada pelo quociente metabólico nesta mesma época (quantidade de carbono oxidado por grama de carbono da biomassa microbiana por certo tempo) podem ser devido à constante deposição de substratos orgânicos e à grande quantidade de raízes no solo (SILVA et al., 2010).



**Figura 2.** Carbono microbiano (Cmic) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) na camada 0 a 10 cm, a 50, 150 e 250 cm de distância em relação ao estipe das macaubeiras no período chuvoso e seco.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste t, e comparam as épocas contrastantes dentro de cada distância.

O aumento da taxa de respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) indica que a biomassa microbiana estaria atuando na decomposição da matéria orgânica do solo, com imobilização de nutrientes em sua biomassa e liberação de partes destes constituintes para a solução do solo. Menores valores no inverno sugerem que a biomassa microbiana está atuando como compartimento de reserva de nutrientes evitando-se perdas nesse período (LOURENTE et al., 2011) e há uma tendência de maior atividade respiratória da biomassa microbiana nos sistemas com menor intensidade de manejo do solo (FRAZÃO et al., 2010).

O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) expressa a energia necessária para a manutenção da atividade metabólica em relação à energia necessária para a síntese da própria biomassa, sendo considerado um índice metabólico para avaliar o efeito de condições de estresse sobre a atividade microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1993; GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Neste estudo foi observado que no geral, o quociente metabólico na época chuvosa foi de 0,11 mg C-CO<sub>2</sub> mg Cmic<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e no período seco foi de 0,05 mg C-CO<sub>2</sub> mg Cmic<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

Sabe-se que, em termos gerais, 2/3 do C decomposto é liberado como CO<sub>2</sub>, enquanto 1/3 é incorporado no tecido microbiano (PAUL, 2007). Entretanto, a diminuição do quociente metabólico sugere a ocorrência de uma comunidade microbiana mais eficiente na utilização de compostos orgânicos,

liberando menos C na forma de CO<sub>2</sub> e incorporando mais C nos tecidos microbianos. Assim, alto qCO<sub>2</sub> poderia estar associado a uma condição de estresse no ambiente, enquanto que baixo qCO<sub>2</sub> pode refletir um ambiente mais estável. A diminuição nesse quociente pode ter implicações práticas na agricultura, pois se menos C é incorporado, uma menor quantidade de C é liberada do solo, podendo ocorrer acúmulo de C no solo (BALOTA et al., 2004).

Lourente et al. (2011) verificaram que o quociente metabólico só foi diferente significativamente entre a vegetação nativa e os demais sistemas de uso do solo durante o inverno. No verão não foram constatadas diferenças significativas entre os sistemas de uso, e ocorreu redução do qCO<sub>2</sub> para a vegetação nativa e incremento para os sistemas de cultivos. A redução nos valores do qCO<sub>2</sub> para a vegetação nativa, no verão, indica que a biomassa microbiana está sendo mais eficiente, ou seja, está havendo menor perda de CO<sub>2</sub> por unidade de biomassa.

Os sistemas que promovam menores qCO<sub>2</sub> devem ser estimulados, pois nesses sistemas a biomassa microbiana está em equilíbrio, com menores perdas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pela respiração, e, com isso, maior é a incorporação de C à biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES, 2008).

Nesse estudo a contribuição do carbono da biomassa microbiana para o carbono orgânico total

do solo (qMic) foi influenciada pela época de coleta e dobrou na época seca (2,5%), comparado à chuvosa (1,24%) e este atributo é um indicador de qualidade do solo (TÓTOLA; CHAER, 2002).

O quociente microbiano (qMic), em condições normais, varia de 1 a 4 % e valores inferiores a 1 % podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (JAKELAITIS et al. 2008). Tem sido sugerido que em torno de 2,2 % expressaria um equilíbrio no solo (JENKINSON; LADD, 1981).

O qMic reflete quanto do C orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana e mostra o potencial de reserva desse elemento no solo (CARNEIRO et al., 2009) e representa o acúmulo de carbono nos microrganismos sem alterações no estoque de carbono do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 1997). Esse comportamento corrobora com o resultado altamente significativo para épocas contrastantes encontrado para essa variável no presente estudo.

Lourente et al. (2011) não verificaram efeito dos sistemas de manejo sobre o qMic, independente do período de avaliação (inverno e verão). Neves et al. (2009) observaram maior valor de qMic, na camada 0-5 cm, em pastagem plantada (7,9 %), apesar de não diferir estatisticamente dos sistemas de cerrado nativo (6,5 %) e floresta plantada de eucalipto (6,4 %). A baixa disponibilidade ou qualidade do substrato orgânico também ocasionam baixos valores de qMic (SILVA et al., 2010).

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída por C, H, O, N, S e P, sendo que o carbono (C) compreende cerca de 58 % da MOS (STEVENSON; COLE, 1999), portanto fatores que influenciam os teores de C no solo são compatíveis para verificar mudanças no comportamento da matéria orgânica. Sendo assim, autores como Cunha et al. 2012; Pôrto et al. (2009); Jakelaitis et al. (2008) e Albuquerque et al. (2005) verificaram que o carbono orgânico do solo sob mata é maior do que sob outras coberturas, provavelmente pelo aporte de resíduos orgânicos, não revolvimento do solo e reduzida erosão hídrica pela maior cobertura do solo pela liteira. Nesse estudo, o teor de matéria orgânica no solo variou de 56,41 g kg<sup>-1</sup> na época chuvosa e 42,09 g kg<sup>-1</sup> na seca (Tabela 2).

Os teores de nitrogênio total no solo foram entre 2,09 e 2,06 g kg<sup>-1</sup> no verão e inverno, respectivamente. Esses resultados foram menores que o teor médio de nitrogênio (3,8 g kg<sup>-1</sup>) relatado em Gleissolo estudado por Santos (2007).

Houve efeito do distanciamento horizontal do caule para a maioria dos atributos avaliados, com exceção do qMic e, para os atributos Cmic, RB, MOS e NT apresentaram maiores valores na distância a 50 cm do caule, o qCO<sub>2</sub> foi maior nas duas primeiras distâncias (50 e 150 cm do caule). O qMic não diferiu entre as diferentes distâncias e apresentou valores entre 1,84 e 1,89% (Tabela 3).

**Tabela 3.** Carbono microbiano (Cmic), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e microbiano (qMic); matéria orgânica do solo (MOS) e nitrogênio total (NT), avaliados em diferentes distâncias do caule, na camada 0 - 10 cm de um Gleissolo sob macaubeiras nativas.

Atributos	Distância do caule (cm)		
	50	150	250
Cmic <sup>1</sup>	565,38a <sup>2</sup>	374,12b	466,50b
RB	45,70a	34,06b	30,50c
qCO <sub>2</sub>	0,089a	0,084a	0,072b
qMic	1,88a	1,89a	1,84a
MOS	54,61a	46,47b	46,67b
NT	2,28a	1,93b	1,93b

<sup>1</sup>Unidades dos atributos microbiológicos e químicos - (Cmic = (mg C kg<sup>-1</sup>); RB = (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>); qCO<sub>2</sub> = (mg C-CO<sub>2</sub> mg Cmic<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>); qMic = (%); matéria orgânica = (g C kg<sup>-1</sup>); nitrogênio total = (g N kg<sup>-1</sup>); <sup>2</sup>Médias seguidas pela mesma letra nas linhas, não diferem entre si, pelo teste t (p<0,05).

O Cmic, a MOS e o NT foram maiores na distância de 50 cm do caule e semelhantes nas distâncias de 150 e 250 cm do solo. A redução na biomassa microbiana do solo em relação à profundidade e à distância do caule pode ser atribuída à quantidade de nutrientes como carbono e nitrogênio, e esse comportamento microbiano pode estar relacionado com a biomassa radicular (FALL et al., 2012). Além disso, a diversidade e o número

de microrganismos na rizosfera são determinados pela composição e concentração de exsudados radiculares excretados pelas plantas, pois são fonte de nutrientes para os microrganismos (MARCHNER et al., 2004).

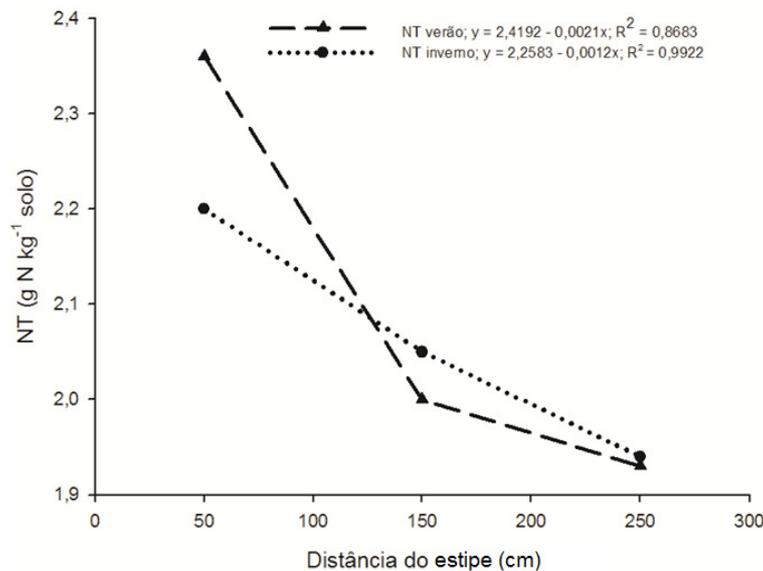
Houve diferenças significativas na RB para todas as distâncias do caule, com maiores valores a 50 cm (45,70 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e menores a 250 cm (30,50 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), sugerindo que houve

menor disponibilidade de substratos orgânicos à microbiota do solo, via biomassa radicular (FALL et al., 2012) ou menor densidade microbiana (MARCHNER et al., 2004).

O distanciamento do caule também provocou menores teores de MOS e NT (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Diniz et al. (2010a) que verificaram influência do distanciamento da base do caule, em macaubeiras nativas, no comportamento da MOS para as camadas de 0 - 10 e 10 - 20 cm. Em geral, houve uma redução no teor de matéria orgânica, conforme

ocorreu o distanciamento do caule e o teor de MOS foi menor na camada subsuperficial. Esses resultados, provavelmente, ocorreram devido ao maior aporte de substrato orgânico na região mais próxima do caule das palmeiras.

Neste estudo, o nitrogênio total geral nas épocas seca e chuvosa são apresentados na Figura 3 e estes resultados, em dados absolutos, mostraram que a maior variação ocorreu à distância de 50 cm que apresentou valores de 2,36 g kg<sup>-1</sup> na época chuvosa e 2,20 g kg<sup>-1</sup> na época seca. Houve efeito espacial conforme apresentado na (Figura 3).



**Figura 3.** Efeito espacial do nitrogênio total (NT) na camada 0 a 10 cm, a 50, 150 e 250 cm de distância em relação ao estipe das macaubeiras no período chuvoso e seco.

Diniz et al. (2010b), em estudos sobre o efeito da distância da base do caule na relação entre o carbono orgânico e nitrogênio total, em um solo sob macaubeiras nativas verificaram que a relação C/N sofre influência espacial em relação ao distanciamento da base do caule. Em geral, houve

uma redução na relação entre o carbono orgânico e nitrogênio total do solo (C/N), conforme ocorreu o distanciamento em relação à base do caule das árvores estudadas. A relação entre o carbono orgânico e nitrogênio total do solo foi menor na camada subsuperficial (Tabela 4).

**Tabela 4.** Relação C/N do solo, no verão e inverno, em diferentes distâncias do caule, na camada 0 - 10 cm de um Gleissolo sob macaubeiras nativas.

Época	Distância do caule		
	50	150	250
Verão	14,96aA <sup>1</sup>	15,88bA	16,14abA
Inverno	13,04aB	10,79aB	11,95aB

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste t (p<0,05).

Na interação entre épocas e distâncias do caule no verão, foram obtidos maiores valores em todas as distâncias avaliadas; no inverno, não houve diferença significativa na relação C/N entre as distâncias; já no verão, os menores valores foram obtidos na distância de 150 cm comparada à de 50 cm.

A relação C/N é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo e fornece informação sobre os nutrientes essenciais para a atividade dos microrganismos do solo (SANTOS, 2007). Os resultados apresentados nesse estudo são compatíveis com a relação C/N (10 a 15/1)

apresentada por Stevenson (1994) em estudos de solos tropicais não revolvidos.

Santos (2007) em estudo de tipologias em Gleissolo, quando comparado ao Cambissolo relata que a média da relação C/N na camada 0 a 5 cm foi 14,08 e justifica que as médias mais altas de relação C/N em todas as tipologias se deve ao regime de saturação hídrica do solo, determinando um ambiente redutor pela falta ou escassez de oxigênio. Os maiores valores da relação C/N em Gleissolo parece estar associado ao aspecto hidromórfico do solo que dificultaria a degradação do carbono e também pela presença constante do lençol freático

no perfil do solo, que facilitaria as perdas de N por lixiviação.

A correlação de Pearson entre os atributos microbiológicos e químicos do solo sob macaubeiras no verão e inverno mostrou que houve diferença entre os mesmos no verão e inverno (Tabela 5). No verão, houve correlação negativa entre o qCO<sub>2</sub> com o Cmic e qMic e do qMic e a relação C/N do solo. Houve correlação positiva entre a MOS e a RB e qMic, além de NT e Cmic e RB. Freitas et al. (2009) obtiveram entre o Cmic com a RB e o NT em área sob citrus.

**Tabela 5.** Correlação de Pearson entre os atributos microbiológicos carbono microbiano (Cmic), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e microbiano (qMic); e químicos do solo matéria orgânica do solo (MOS), nitrogênio total (NT) e relação C/N do solo, sob plantio de macaubeiras, no verão e inverno.

Atributos	Verão						
	Cmic	RB	qCO <sub>2</sub>	qMic	MOS	NT	C/N
Cmic <sup>1</sup>	-	0,325 <sup>ns</sup>	-0,508 <sup>**</sup>	0,731 <sup>**</sup>	0,154 <sup>ns</sup>	0,419 <sup>*</sup>	-0,350 <sup>ns</sup>
RB		-	0,618 <sup>**</sup>	-0,077 <sup>ns</sup>	0,495 <sup>**</sup>	0,581 <sup>**</sup>	-0,78 <sup>ns</sup>
qCO <sub>2</sub>			-	-0,664 <sup>**</sup>	0,388 <sup>ns</sup>	0,207 <sup>ns</sup>	0,213 <sup>ns</sup>
qMIC				-	0,547 <sup>**</sup>	-0,165 <sup>ns</sup>	-0,616 <sup>**</sup>
MOS					-	0,786 <sup>**</sup>	0,445 <sup>*</sup>
NT						-	-0,200 <sup>ns</sup>
C/N							-
Inverno							
Cmic	-	0,631 <sup>**</sup>	-0,212 <sup>ns</sup>	0,512 <sup>**</sup>	0,625 <sup>**</sup>	0,238 <sup>ns</sup>	0,600 <sup>**</sup>
RB		-	0,584 <sup>**</sup>	0,196 <sup>ns</sup>	0,503 <sup>**</sup>	0,057 <sup>ns</sup>	0,576 <sup>**</sup>
qCO <sub>2</sub>			-	-0,266 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,138 <sup>ns</sup>	0,099 <sup>ns</sup>
qMic				-	-0,331 <sup>ns</sup>	-0,312 <sup>ns</sup>	-0,013 <sup>ns</sup>
MOS					-	0,539 <sup>**</sup>	0,612 <sup>**</sup>
NT						-	-0,234 <sup>ns</sup>
C/N							-

<sup>1</sup> Unidades dos atributos microbiológicos e químicos - (Cmic = (mg C kg<sup>-1</sup>); RB = (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>); qCO<sub>2</sub> = (mg C-CO<sub>2</sub> mg Cmic<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>); qMic = (%); matéria orgânica = (g C kg<sup>-1</sup>); nitrogênio total = (g N kg<sup>-1</sup>); Ns – não significativo; \* - significativo a p<0,05; \*\* - significativo a p<0,01.

No inverno, houve correlação positiva entre o Cmic com a RB, a MOS e a relação C/N do solo, houve correlação positiva entre a MOS e o NT e a MOS. Em trabalho sob plantio direto de soja, Perez et al. (2004) também obteve correlação positiva entre o Cmic e a MOS e Freitas et al. (2009) também obtiveram correlação positiva entre o Cmic e RB do solo em área sob cultivo de citrus.

## CONCLUSÕES

O Cmic, RB, qCO<sub>2</sub>, MOS e a relação C/N são sensíveis à variação sazonal e espacial em mata de macaubeiras no Cerrado.

O NT apresenta variação espacial em mata de macaubeiras no Cerrado.

A microbiota presente no solo sob macaubeiras foi mais eficiente e se manteve mais equilibrada durante o inverno seco, apresentando maiores teores de Cmic, menor qCO<sub>2</sub>, maior Cmic:Org e menor C/N.

Houve comportamento diferenciado na correlação entre os atributos químicos e microbiológicos do solo, no verão e inverno.

**ABSTRACT:** Macauba palm (*Acrocomia aculeata*) is an alternative for biodiesel production and intercropped with pastures, can be used to recover degraded areas. The aim of this paper was to study the alterations of microbial and soil organic matter and total N, in function of sazonal and spatial variation of a Gleysol, under native macauba palms (*Acrocomia aculeata*). This observational study took place in Santa Fe Agropecuaria farm, in the region of Planaltina de Goias, State of Goias. Ten trees were selected from a native forest containing macauba palms. Soil samples were then taken at a depth of 0 - 10 cm from a horizontal imaginary line, drawn from the macauba's palm trunk. Soil samples were taken from a 50, 150 and 250 cm distance from the trunk, during the wet summer (March, 2010) and the dry winter (July, 2010). The mixed model was used in order to evaluate the observational study. The observational means were submitted to testing to evaluate if their values followed a normal distribution and to test homogeneity of variance. Subsequently, data were submitted to the F-test and the means were compared using the t-test. The Cmic, RB, qCO<sub>2</sub> and the MO and soil C/N have been found to be sensitive to seasonal and spatial variation in the native forest of macauba palms, in the Cerrado. The NT showed to be sensitive to spatial variation. The microbiota present in the soil under macauba palms was more efficient and maintained a higher equilibrium during the dry winter, presenting higher values of Cmic and Cmic:Corg, and lower values of qCO<sub>2</sub> and soil C/N ratio.

**KEYWORDS:** Soil quality. *Acrocomia aculeata*. Microbiological indicators. Organic matter. Biodiesel.

---

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L do P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 415-424, 2005.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**, London: Academic Press, 1995. 576p.
- ALVES, T dos S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>) 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**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ASHARIE, Y.; ZECH, W.; GUGGENBERGER, G.; MAMO, T. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 101-108, 2007.
- BALOTA, E. L.; COLLOZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 137-145, 2004.
- BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: **Methods of soil analysis**. 2ed. American Society of Agronomy. Madison, USA. Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Agronomy Monograph n. 9, Madison, p. 591-641, 1982.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S. AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- COSER, T. R. RAMOS, M. L. G.; AMÁBILE, R. F.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 399-406, 2007.

- CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.
- DINIZ, L. T.; RAMOS, M. L. G.; MELO, A. A.; LIMA, L. C.; SILVA, D. E.; COIMBRA, K. das G.; ALENCAR, C. M. Comportamento da matéria orgânica em relação à distância da base do caule em um Gleissolo sob macaubeiras nativas associadas à pastagem, no cerrado goiano. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2010, Natal. **Anais...** Centro Convenções Natal – RN. 2010a. CD-ROM.
- DINIZ, L. T.; RAMOS, M. L. G.; MELO, A. A.; LIMA, L. C.; SILVA, D. E.; ALENCAR, C. M. Efeito da distância da base do caule na relação entre o carbono orgânico e nitrogênio total, em um solo sob macaubeiras nativas associadas à pastagem, no cerrado goiano. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2010, Natal. **Anais...** Centro Convenções Natal – RN. 2010b. CD-ROM.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro - CNPS, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ed. Rio de Janeiro-CNPS, 1997. 212p.
- ESPÍNDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, de D. L.; A. de. J.A.A.; GUERRA, J. G. M.; SILVA, da E. M. R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 104-113, 2001.
- FALL, D.; DIOUF, D.; ZOUBEIROU, A. M.; BAKHOUM, N.; FAYE, A.; SALL, S. N. Effect of distance and depth on microbial biomass and mineral nitrogen content under *Acacia Senegal* (L.) Willd. Trees. **Journal of Environmental Management**, v. 95, p. S260-S264, 2012.
- FORD, D. J.; COOKSON, W. R.; ADAMS, M. A.; GRIERSON, P. F. Role of soil drying in nitrogen mineralization and microbial community function in semi-arid grasslands of north-west Australia. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 39, n. 7, p. 1557-1569, 2007.
- FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy Brazilian Cerrado, soil under different land uses. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 135, p. 161-167, 2010.
- FREITAS, V. M. F.; RAMOS, M. L. G.; CARES, J. D.; COSTA, A. S.; HUANG, S. P. Relationships Between the Community of Soil Nematodes and the Microbial Biomass in the Root Zone of Citrus. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, p. 28-36, 2009.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de; Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 361-365, 1997.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES A. C.; SANTOS, G. A. S. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 893-901, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, S. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS G. A. & CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

- GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1521-1530, 2008.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. da; SANTOS, A. A. dos, VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.
- 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, p. 415-471, 1981.
- LITTEL, R. C.; MILLIKEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D. **SAS System for Mixed Models**. Cary, NC: SAS. Institute Inc., 1996. 633p.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, S. F.; GASPARINE, 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.
- MAO, R.; ZENG, D. H. Changes in soil particulate organic matter, microbial biomass, and activity following afforestation of marginal agricultural lands in a semi-arid area of northeast China. **Environmental Management**, New York, v. 46, p. 110-116, 2010.
- MARISOLA FILHO, L. A. Cultivo e processamento de coco macaúba para a produção de biodiesel. Viçosa – MG, **Centro de Produções Técnicas – CPT**, 2009. 333p.
- MARSCHNER, P.; CROWLEY, D. E.; YANG, C. H. Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 261, p. 199-208, 2004.
- MOREIRA, F. M de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. Ed. Atual. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. de S., D'ANDRÉA, A. F. Indicadores Biológicos da Qualidade do Solo em Sistemas Agrossilvopastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2009.
- PAUL, E. A. **Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry**. Academic Press, Burlington, 3 ed. 2007. 532p.
- PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja ob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 567-573, 2004.
- PIAO, H. C.; HONG, Y. T.; YUAN, Z. Y. Seasonal changes of microbial biomass carbon related to climatic factors in soil from Karst areas of southwest China. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v. 30, n. 4, p. 294-297, 2000.
- PÔRTO, M. L.; ALVES, J. do C.; DINIZ, A. A.; SOUZA, A. P de; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1011-1017, 2009.
- REATTO, A.; MARTINS, E. S.; SPERA, S. T.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO Jr., O. A.; GUIMARÃES, R. F. Levantamento detalhado dos solos da bacia hidrográfica do Córrego Taguatinga, DF, escala 1:25.000. Planaltina: Embrapa Embrapa Cerrados. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 122, 2004.

- REIN, T. A.; DUXBURY, J. M. Modeling the soil organic carbon, texture and mineralogy relations in the profile of oxisols from the Brazilian Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO E II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 9., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa Cerrados, CD ROM. 2008.
- RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; FIGUEIREDO, C. C. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Eds). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 417-473, 2008.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. P. 87-166.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 11-21, 2008.
- SANTOS, Everaldo dos. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em Gleissolo e cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina – PR**. 2007. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- SAS Institute, **User's Guide**. Versão 9.1.3, versão para Windows. Cary, NC, USA, 2008.
- SEARLE, S. R., CASELLA, G., McCULLOCH, C. E. **Variance Components**. Wiley, 1992. SAS Institute. SAS STAT. Proc mixed. Release 9.1, 2003.
- SILVA, R. R. da, SILVA, M. L. N., CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. de S., CURTI, N., ALOVISI, A. M. T. Biomassa e Atividade Microbiana em Solo sob Diferentes Sistemas de Manejo na Região Fisiográfica Campo das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S.; GRISI, B. M.; ARAÚJO, R. S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília, DF: EMBRAPA - SPI, 1994. 142p.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, n. 2, p. 195-207, 1992.
- STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2 ed. New York: J. Wiley, 427p., 1999.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: Wiley, 1994.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (ED.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: SBCS, v. 2, p. 195-276, 2002.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C. JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Philadelphia, v. 37, p. 29-38, 1934.
- WARDLE, D. A. Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Embrapa, Brasília, DF. 543, 1994.