

Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura¹

Soil biological activity under intercropping of passion fruit, pineapple, maize, cassava and cover crops

Sebastião Elviro de Araújo Neto^{2*}, Alisson Nunes da Silva³, Jorge Ferreira Kusdra², Faelen Tais Kolln³ e Romeu de Carvalho Andrade Neto⁴

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de plantas de cobertura em cultivo consorciado de maracujá, abacaxi, mandioca e milho sobre a atividade biológica do solo em período chuvoso e de estiagem. O experimento foi conduzido em Rio Branco, Acre, em um ARGISSOLO AMARELO Alítico plúntico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados completos com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas foram estudadas épocas de avaliação (março, maio, agosto e outubro de 2011) e, nas subparcelas, plantas de cobertura [kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*), crotalaria (*Crotalaria spectabilis*), amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) e plantas espontâneas]. Foram avaliadas respiração (edáfica e basal), biomassa microbiana, e quocientes metabólico (qCO₂) e microbiano (qMIC). No final do período chuvoso, em condições de adequada umidade e oxigenação do solo, a cobertura com crotalaria potencializa a atividade microbiana juntamente com o feijão de porco, que proporciona maior respiração edáfica. No período com maior restrição do oxigênio no solo (outubro a março - estação chuvosa) e de água (agosto - característico da estação seca), o amendoim forrageiro mantém alta atividade microbiana. No período de maior precipitação pluviométrica (março), o solo sob plantas espontâneas apresenta maiores biomassa microbiana e eficiência metabólica.

Palavras-chave: Cultivo consorciado. Emissão de CO₂. Dinâmica do carbono.

ABSTRACT - The objective of this work was to evaluate the effect of cover crops on the biological activity of the soil in the rainy and dry seasons, under the intercropping of passion fruit, pineapple, cassava and maize. The experiment was carried out in Rio Branco, in the state of Acre in Brazil, in a plinthic allitic Yellow Argisol. The experimental design used was of complete randomised blocks with split lots and four replications: with the evaluation periods for the lots (March, May, August and October of 2011) and the cover crops for the sublots [tropical kudzu (*Pueraria phaseoloides*), crotalaria (*Crotalaria spectabilis*), pinto peanut (*Arachis pintoi*), jack bean (*Canavalia ensiformis*) and weeds]. The following were evaluated: respiration (edaphic and basal), microbial biomass, and metabolic (qCO₂) and microbial (qMIC) quotients. At the end of the rainy season, under adequate conditions of moisture and oxygenation in the soil, crotalaria cover enhances microbial activity together with the jack bean, which provides better edaphic respiration. During the period when soil oxygen is more restricted (from October to March - the rainy season) and water (August - characteristic of the dry season), the pinto peanut helps maintain high microbial activity. In the period of greatest rainfall (March), the soil under weed cover displays greater microbial biomass and metabolic efficiency.

Key words: Intercropping. CO₂ emission. Carbon dynamics.

*Autor correspondência

¹Recebido publicação em 01/04/2013; aprovado em 19/05/2014

Trabalho realizado como parte da Dissertação do segundo autor do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFAC com financiamento de bolsas CAPES e CNPq concedida aos autores

²Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco-AC, Brasil, selviro2000@yahoo.com.br; kusdra@globo.com

³Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco-AC, Brasil, floydwaters@hotmail.com; fkolln@gmail.com

⁴Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio Branco-AC, Brasil, romeu.andrade@embrapa.br

INTRODUÇÃO

A exploração dos solos na Amazônia foi realizada por décadas de forma extrativista sem significativos impactos ambientais. Entretanto, posteriormente, para integrar a região ao processo produtivo e econômico do país sistemas agrícolas e, principalmente, pastoris, passaram a tornar-se cada vez mais frequentes, vinculando-se a estas práticas insustentáveis como derrubada e queima da vegetação natural (CASTRO *et al.*, 2008).

As práticas agrícolas podem contribuir para prejudicar, manter ou melhorar os indicadores de qualidade edáfica. O uso de agrotóxicos, por exemplo, tende a comprometer o equilíbrio biológico do solo causando extinção de espécies e perda de diversidade (PRIETO-BENÍTEZ; MÉNDEZ, 2011). Por outro lado, a adição de matéria orgânica, a cobertura morta e a adubação verde normalmente interferem positivamente em várias características físicas, químicas e biológicas do solo (GARCÍA-ORENES *et al.*, 2010). Além disso, se o sistema de cultivo for orgânico há maior micorrização e atividade microbiana do solo (FREITAS *et al.*, 2011).

A presença na área de cultivo de diferentes espécies vegetais aumenta a diversidade de substrato (biomassa), seja com plantas cultivadas ou de cobertura (adubo verde), que é fundamental para a manutenção da diversidade biológica do solo (HUNGRIA *et al.*, 2009; LORANGER-MERCIRISA *et al.*, 2006; XUE-MEI *et al.*, 2007).

Entre as características consideradas desejáveis na escolha da espécie de planta para cobertura do solo incluem-se alta produtividade de biomassa de parte aérea e de raiz (ESPINDOLA *et al.*, 2006), capacidade de rápida mineralização e ciclagem de nutrientes (DUDA *et al.*, 2003), redução da infestação de plantas daninhas (SILVA; HIRATA; MONQUERO, 2009), promoção de agregação de partículas e atenuação de oscilações térmicas e hídricas do solo (LOSS *et al.*, 2009) e controle de pragas agrícolas (BEZERRA *et al.*, 2004; SAKONNAKHON *et al.*, 2006).

A liberação de C-CO₂ pelos microrganismos (respiração basal) e por estes junto a invertebrados e raízes de plantas (respiração edáfica) são os principais indicadores da atividade biológica do solo. Além destes, a biomassa microbiana, que representa a parte viva da matéria orgânica do solo excluindo raízes e animais maiores do que 5 x 10³ μm³, constitui-se em importante agente regulador do processo de decomposição de resíduos orgânicos e ciclagem de nutrientes (HUNGRIA *et al.*, 2009).

O quociente metabólico (qCO₂), que indica a quantidade de CO₂ produzido por unidade de carbono da biomassa microbiana, permite relacionar a perda de carbono para a atmosfera com a incorporação deste aos tecidos microbianos (ANDERSON; DOMSCH, 1990; ANDERSON;

DOMSCH, 1993). O quociente microbiano (qMIC), definido pela relação entre o carbono da biomassa microbiana e o do solo, permite dimensionar quanto do carbono orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana e assim avaliar a eficiência dos microrganismos na imobilização deste elemento (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

Na região amazônica predominam solos frágeis, seja quimicamente, no caso dos altamente intemperizados, como os Latossolos, Argissolos e Plintossolos, ou fisicamente, em estrutura, no caso dos da formação Solimões (WADT, 2002). No Acre se encontram as duas situações, evidenciando a necessidade de práticas de cultivo que aliem a manutenção da biodiversidade, o acúmulo de matéria orgânica e a melhoria das propriedades biológicas do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de plantas de cobertura em cultivo consorciado de maracujá, abacaxi, mandioca e milho sobre a atividade biológica do solo em período chuvoso e de estiagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de novembro de 2009 a novembro de 2011 no município de Rio Branco, AC (latitude: 9°53' 16''S; longitude: 67°49' 11''W; altitude: 170 m; declividade de 0,02 m m⁻¹). O clima da região é quente e úmido, do tipo Am segundo a classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais em torno 24,5 °C, umidade relativa do ar de 84% e a precipitação pluviométrica anual variando de 1.700 a 2.400 mm. Os dados meteorológicos do período de avaliação estão disponíveis na Tabela 1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições. A parcela principal foi constituída por quatro épocas de avaliação (março, maio, agosto e outubro de 2011) e as sub-parcelas por cinco coberturas de solo (feijão-de-porco, crotalária, puerária, amendoim forrageiro e plantas espontâneas) cultivadas em duas ruas de maracujazeiro paralelas medindo 9 x 4 m cada. A parcela útil foi constituída em cada sub-parcela por uma amostra de solo composta por quatro amostras simples.

O solo do experimento foi classificado como Argissolo Amarelo Alítico plúntico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006). Sua análise química na camada de 0-20 cm realizada segundo Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) revelou os seguintes atributos de fertilidade: pH (H₂O) 5,4; matéria orgânica: 18 g dm⁻³; P (Mehlich-1): 7 mg dm⁻³; K: 2,6 mmol_c dm⁻³; Ca: 27 mmol_c dm⁻³; Mg: 16 mmol_c dm⁻³; Al: 1 mmol_c dm⁻³; H+Al: 41 mmol_c dm⁻³; Fe: 530 mg dm⁻³; Cu: 1,6 mg dm⁻³; Mn: 99 mg dm⁻³; Zn: 2,6 mg dm⁻³; B: 0,17 mg dm⁻³.

Tabela 1 - Precipitação, temperatura e umidade relativa do ar durante o período de avaliação da atividade biológica do solo (janeiro a dezembro de 2011), Sítio Ecológico Seridó, Rio Branco, Acre, 2011

Mês	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)			Umidade Relativa do Ar (%)
		Máxima	Mínima	Média	
Janeiro	116,9	30,3	22,7	25,6	87
Fevereiro	176,4	29,9	22,3	25,4	88
Março	263,3	30,5	22,5	25,4	88
Abril	213,5	31,1	22,0	25,5	88
Mai	50,0	31,0	20,4	24,8	84
Junho	21,8	31,2	20,0	24,6	82
Julho	1,8	32,6	18,5	24,4	76
Agosto	30,9	33,5	18,4	24,8	68
Setembro	116,8	33,6	21,1	26,1	78
Outubro	99,9	32,2	22,1	26,0	84
Novembro	290,0	32,3	22,5	26,5	81
Dezembro	127,2	31,2	22,8	25,9	87

Fonte: Estação meteorológica da Universidade Federal do Acre, distante 10 km da área experimental

Com objetivo de elevar os teores de Ca e Mg do solo da área experimental, foi aplicado à lanço 1.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico com 92% de PRNT, seguido de gradagem mecanizada com grade-aradora.

Após o preparo da área foi semeado o milho cv. Bandeirante (variedade) no espaçamento de 1 m entre linhas na densidade de 5 plantas m⁻¹, totalizando 44.192 plantas ha⁻¹. O transplante do maracujazeiro para o local definitivo foi realizado em novembro/2009, no momento de emissão da 1ª gavinha, no espaçamento de 4,0 x 3,0 m (833 plantas ha⁻¹), em covas de 40 x 40 x 40 cm, adubadas com 12 L de esterco de curral, 500 g de calcário e 200 g de termofosfato magnésico.

Após a capina do milho, realizada no estádio V2, foi plantado o abacaxizeiro em linhas quádruplas espaçadas 4,0 x 0,40 x 0,40 x 1,00 m (9.200 plantas ha⁻¹) entre as linhas de maracujazeiro. Depois do plantio do abacaxi, foram semeados feijão-de-porco (6.157 plantas ha⁻¹), crotalária (8.704 plantas ha⁻¹), puerária (10.000 plantas ha⁻¹) e plantado amendoim forrageiro, entre as linhas de abacaxizeiro e a linha de maracujazeiro. A mandioca foi plantada após a colheita do milho em duas linhas paralelas às linhas laterais do abacaxi, numa densidade de 4.600 covas ha⁻¹.

Foram realizadas duas adubações de cobertura no maracujazeiro (fevereiro/2010 e fevereiro/2011), com 12 litros de cama de frango enriquecido com sulfato de potássio (20 kg m⁻³) e bórax (3 kg m⁻³). Todos os insumos e práticas utilizadas estão de acordo com a Instrução Normativa nº. 46 de 6 de outubro de 2011, que normatiza a produção orgânica vegetal no Brasil.

A fitomassa residual do ano anterior à avaliação foi constituída de colmos, folhas e flores do milho, parte aérea da mandioca, plantas de cobertura e vegetação espontânea. Os resíduos do milho e da mandioca foram coletados no momento da colheita. As folhas senescentes da mandioca, maracujazeiro, crotalária e feijão-de-porco foram recolhidas com coletores de madeira (quadrado de Pearson) forrados com tela, medindo 0,50 x 0,50 m, colocados abaixo do dossel. A coleta manual das folhas senescentes de puerária e amendoim forrageiro foram realizadas quinzenalmente, sempre na mesma área de 0,50 x 0,50 m. Antes de cada capina coletaram-se amostras da parte aérea da vegetação espontânea de uma área de 0,50 x 0,50 m para quantificar a biomassa dessa vegetação. Toda biomassa coletada foi secada em estufa a 65 °C até obter-se massa constante.

A produção de biomassa seca foi de 25.221,3 kg ha⁻¹ para a puerária, 25.090,3 kg ha⁻¹ para feijão-de-porco, 24.011,1 kg ha⁻¹ para crotalária, 21.885,8 kg ha⁻¹ para amendoim forrageiro e 18.261,0 kg ha⁻¹ para plantas espontâneas.

Para avaliar a respiração basal, a biomassa microbiana e os quocientes metabólico e microbiano foram realizadas coletas de solo na profundidade de 0 a 10 cm em quatro épocas do ano de duas estações distintas, chuvosa (26/03/11 e 19/10/11) e seca (07/05/11 e 01/08/11). A determinação da respiração basal do solo foi efetuada a partir de 100 g de solo peneirado e incubado em frascos de vidro hermeticamente fechados contendo 20 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 N L⁻¹ para a captura do CO₂ liberado pela amostra. Após incubação por 7 dias

efetuou-se a titulação do NaOH, recolhido dos recipientes do interior dos frascos, com HCl 0,5 N acrescido de 2 mL de BaCl₂ 10% (m/v) para precipitação do carbonato e 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v) como indicador (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

A quantidade de C-CO₂ liberado pelas amostras foi calculada de acordo com a equação 1, proposta por Stotzky (1965).

$$RB = ((B - V).N.E.FU.FD.10)/T \quad (1)$$

em que: *RB* = respiração basal expressa em mg C-CO₂ kg⁻¹solo h⁻¹; *B* = volume em mL de HCl gasto na prova em branco (controle); *V* = volume em mL de HCl gasto na amostra exposta ao solo; *N* = normalidade do HCl; *E* = equivalente-grama do carbono; *FU* = fator umidade obtido pelo quociente entre as massas de solo úmida e seca; *FD* = fator diluição obtido pelo quociente entre os volumes de NaOH usados na incubação e na titulação; *10* = fator de correção de g para kg; *T* = tempo de incubação em horas.

A biomassa microbiana foi obtida pelo método da respiração induzida (ANDERSON; DOMSCH, 1978) utilizando-se como substrato 0,5 g de açúcar refinado misturado a 100 g de solo peneirado e incubado em frascos de vidro hermeticamente fechados contendo 20 mL de NaOH 0,5 N para a captura do CO₂ liberado pela amostra. Após incubação por 4 horas efetuou-se a titulação do NaOH, recolhido dos recipientes do interior dos frascos, com HCl 0,5 N acrescido de 2 mL de BaCl₂ 10% (m/v) para precipitação do carbonato e 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v) como indicador. O C-CO₂ liberado pelas amostras de solo pelo método da respiração induzida pelo substrato foi quantificado da mesma forma que para respiração basal e a biomassa microbiana calculada pela seguinte expressão (Equação 2):

$$y = 40,04x + 0,37 \quad (2)$$

onde *y* = biomassa microbiana em mg C-mic.kg⁻¹solo e *x* = mg de C-CO₂ kg⁻¹solo h⁻¹ liberado na respiração induzida pela adição da glicose.

O quociente metabólico do solo (qCO₂) foi obtido, segundo recomendado por Anderson e Domsch (1993), pela razão entre os resultados da respiração basal (RB) e os da biomassa microbiana (BM) da mesma amostra, ou seja qCO₂ = RB/BM e o quociente microbiano (qMIC), pela razão entre a BM e o carbono orgânico total do solo, conforme Anderson e Domsch (1989).

A umidade do solo considerada nas determinações das respirações basal e induzida foi obtida à partir de amostras de 100 g de solo, colocadas em estufa de circulação de ar forçada a 105 °C.

Também, avaliou-se a respiração edáfica a qual foi determinada mediante uso de câmaras estáticas, constituídas de tubos de cloreto de polivinil rígido

(PVC) de 200 mm de diâmetro e 50 cm de altura, inseridas em cada área a aproximadamente 5 cm de profundidade. Em cada câmara foi acondicionado um recipiente plástico contendo 30 mL de solução de NaOH 0,5 N para captura do CO₂ e, em cinco destas, consideradas como controle (branco), efetuou-se a vedação de seus fundos com plástico para evitar que nas mesmas houvesse a captura do CO₂ do solo pela solução de NaOH em seu interior. Após incubação por 48 horas efetuou-se a titulação do NaOH, recolhido dos recipientes do interior dos tubos, com HCl 0,5 N acrescido de 2 mL de BaCl₂ 10% (m/v) para precipitação do carbonato e 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v) como indicador (CAMPOS, 2006; OLIVEROS, 2008).

A quantidade de C-CO₂ emitido por unidade de superfície foi calculada de acordo com a equação 3, proposta por Anderson (1982).

$$RE = ((B - V) N E)/(A. T) \quad (3)$$

em que: *RE* = respiração edáfica expressa em mg C-CO₂ m²h⁻¹; *B* = volume em mL de HCl gasto na prova em branco (controle); *V* = volume em mL de HCl gasto na amostra exposta ao solo; *N* = normalidade do HCl; *E* = equivalente-grama do carbono; *A* = área em m² da superfície do solo amostrada; *T* = tempo de incubação em horas.

Para a análise estatística efetuou-se primeiramente a verificação da normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk e da homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Para as variáveis que não atenderam a normalidade dos erros e/ou a homogeneidade das variâncias efetuou-se a transformação dos dados. Posteriormente procedeu-se a análise de variância com os dados originais e/ou transformados e quando o valor *F* indicou existir diferença entre os tratamentos fez-se a comparação de suas médias pelo teste de Scott-Knott. A comparação das médias dos solos cultivados sob floresta foi feita pelo teste *t* de Student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se diferença (*P*<0,05) da interação entre coberturas de solo e épocas de avaliação para a respiração basal do solo (Tabela 2), respiração edáfica (Tabela 3), biomassa microbiana (Tabela 4), o quociente metabólico (Tabela 5) e quociente microbiano (Tabela 6). A umidade do solo foi alterada apenas entre as épocas de coleta (Tabela 2).

Os maiores índices de respiração basal (Tabela 2) e edáfica (Tabela 3) observadas no mês de maio em todas as coberturas indicam que nesta época a condição de umidade do solo proporcionada pelo final da estação chuvosa e início da seca é a mais favorável à manutenção da atividade aeróbica dos microrganismos (basal) e em conjunto com invertebrados e raízes de plantas (edáfica). Nos outros

períodos há maior restrição de oxigênio na estação chuvosa (outubro a março) e de água com o avançar da estação seca (agosto) (Tabela 1). Zanchi *et al.* (2012) verificaram na Amazônia brasileira que a respiração do solo foi reduzida em até 27% para chuvas de 22 mm. Porém, no presente trabalho, em maio, quando se observou redução da precipitação (Tabela 1) as emissões de C-CO₂ pelas respirações basal (Tabela 2) e edáfica (Tabela 3) foram maiores que os demais períodos avaliados.

Ao final do período chuvoso (maio) a respiração basal foi maior em solo coberto com crotalária e feijão-deporco (Tabela 2). Segundo Fanin *et al.* (2010) a qualidade da biomassa vegetal tem forte relação com a respiração do solo, em geral, pelo maior conteúdo de P e formas de C que promovem acesso mais rápido à energia e, além disso, pela ação antrópica causada no manejo das plantas que realizam simbiose com microrganismos. Segundo Zhang e Fang (2007) a adubação verde associada à orgânica aumenta o C, o N e o P da biomassa microbiana e melhora dos atributos físicos do solo, fatores estes que contribuem com a atividade microbiana.

O feijão-de porco proporcionou maior respiração edáfica no final do período chuvoso (Tabela 3). De acordo com Sá (2001) a produção de CO₂ no interior do solo está relacionada à atividade biológica, incluindo a respiração das raízes e a decomposição da matéria orgânica do solo pela atividade microbiana, mas segundo Fialho *et al.* (2006) depende da composição da biomassa microbiana.

A cobertura com amendoim forrageiro proporcionou maior respiração basal e respiração

edáfica nos meses de março, outubro e agosto, inclusive comparado ao solo sob floresta nativa (Tabelas 2 e 3). Este comportamento pode ter sido influenciado também pela alta capacidade de produção de biomassa e ciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio por meio da fixação biológica, uma vez que o amendoim forrageiro possui alta produtividade de biomassa (ESPINDOLA *et al.*, 2006), maior relação de raízes/parte aérea e colonização por várias espécies de fungos micorrízicos arbusculares (MIRANDA *et al.*, 2010). Além disso, aumenta o teor de C e P microbiano mineralizado e disponível comparativamente às outras espécies como puerária (*P. phaseoloides*) e siratro (*M. atropurpureum*) (DUDA *et al.*, 2003).

A biomassa microbiana foi maior durante o período mais seco (agosto) em solo coberto com todas as espécies de adubo verde avaliadas exceto em solo coberto com plantas espontâneas, que registrou mesma biomassa nos períodos de maio e agosto (Tabela 4). Este fato pode ser atribuído à diversidade de plantas que proporciona maior regularidade do substrato em condições estressantes (XUE-MEI *et al.*, 2007) e maiores conteúdos de carboidratos, ácidos carboxílicos, amins, amidas, aminoácidos e polímeros (LORANGER-MERCIRISA *et al.*, 2006) fatores estes que podem ter contribuído para a manutenção da biomassa microbiana em solo coberto com plantas espontâneas em período de baixa umidade no solo (agosto).

O solo coberto por plantas espontâneas aumentou a biomassa microbiana no período de maior precipitação pluviométrica (março) e no período intermediário (maio) quando comparado às demais coberturas (Tabela 4). Maior

Tabela 2 - Respiração basal (mg C-CO₂ kg⁻¹ solo dia⁻¹) em resposta à cinco coberturas de solo e quatro épocas de avaliação, em cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho e mandioca sob sistema orgânico de produção. Sítio Ecológico Seridó, Rio Branco, Acre, 2011

Cobertura do solo	Estação Chuvosa		Estação Seca	
	Março	Outubro	Maio	Agosto
Plantas espontâneas	17,0 bB	17,4 bB ^{ns}	27,3 bA	15,6 bB
Amendoim forrageiro	20,9 aB	20,3 aB	24,5 bA	18,7 aB ^{ns}
Puerária	17,5 bB ^{ns}	16,7 bB ^{ns}	26,2 bA	15,0 bC
Crotalária	19,1 aB ^{ns}	18,0 bB ^{ns}	30,2 aA	16,4 bB
Feijão-de-porco	17,1 bB	16,5 bB	32,1 aA	14,6 bC
Solo sob floresta	18,9	18,3	10,6	18,6
Umidade do solo/coberturas (%)	20,7	18,2	18,2	6,9
Umidade do solo/floresta (%)	20,2	16,8	16,8	5,7

CV (época do ano) = 2,39%; CV (cobertura de solo) = 3,35%

F (Época = 237,7** F (Cobertura) = 9,1** F (Época x Cobertura) = 6,4**

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott⁽¹⁾. ⁽²⁾Médias originais cujos dados foram transformados em $\log(x)$ e ⁽³⁾ $\arcsen \sqrt{x/100}$ para atender os pressupostos da análise de variância. Média seguida de "ns" não difere ($P > 0,05$) da média de solo de floresta pelo teste t de Student * significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{ns} não significativo pelo teste F

Tabela 3 - Respiração edáfica (mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹) de solos em resposta à cinco coberturas de solo e quatro épocas de avaliação, em cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho e mandioca sob sistema orgânico de produção. Sítio Ecológico Seridó, Rio Branco, Acre, 2011

Cobertura do solo	Estação Chuvosa		Estação Seca	
	Março	Outubro	Maió	Agosto
Plantas espontâneas	17,6 aD	23,3 aC	63,4 dA	36,1 cB
Amendoim forrageiro	17,3 aD	22,1 aC	65,5 cA	42,9 aB
Puerária	17,4 aD	23,4 aC	69,6 bA	40,5 bB
Crotalaria	16,3 aD	20,8 aC	65,8 cA	33,9 cB
Feijão-de-porco	17,8 aD	21,4 aC	72,4 aA	34,4 cB
Solo sob floresta	14,97	18,69	57,76	38,75

CV (época do ano) = 3,82%; CV (cobertura de solo) = 5,45%

F (Época = 5362,4** F (Cobertura) = 17,4** F (Época x Cobertura) = 15,8**

*Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott⁽¹⁾. Média seguida de "ns" não difere ($P > 0,05$) da média de solo de floresta pelo teste t de Student * significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{ns} não significativo pelo teste F**Tabela 4** - Biomassa microbiana (mg C-Cmic kg⁻¹ solo) de solos em resposta à cinco coberturas de solo e quatro épocas de avaliação, em cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho e mandioca sob sistema orgânico de produção. Sítio Ecológico Seridó, Rio Branco, Acre, 2011

Cobertura do solo	Estação Chuvosa		Estação Seca	
	Março	Outubro	Maió	Agosto
Plantas espontâneas	1158,4 aB	846,3 aC ^{ns}	1514,8 aA	1444,5 aA
Amendoim forrageiro	701,7 bB	817,6 aB	886,1 bB	1455,5 aA ^{ns}
Puerária	835,7 bB ^{ns}	741,5 aB	857,5 bB	1357,7 aA
Crotalaria	743,1 bB	899,9 aB ^{ns}	806,7 bB	1219,9 aA
Feijão-de-porco	631,7 bB	799,2 aB	835,2 bB	1633,2 aA
Solo sob floresta	766,1	820,4	908,6	1445,2

CV (época do ano) = 15,01%; CV (cobertura de solo) = 15,05%

F (Época = 71,2** F (Cobertura) = 12,1** F (Época x Cobertura) = 5,2**

*Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott⁽¹⁾. Média seguida de "ns" não difere ($P > 0,05$) da média de solo de floresta pelo teste t de Student * significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{ns} não significativo pelo teste F

diversidade de plantas, como tem ocorrido na vegetação espontânea, aumenta a atividade e a biomassa microbiana do solo (HUNGRIA *et al.*, 2009; LORANGER-MERCIRISA *et al.*, 2006; XUE-MEI *et al.*, 2007).

O quociente metabólico (qCO₂) foi influenciado pelas plantas de cobertura apenas no período de maior precipitação pluviométrica (março) com baixo valor em solo sob plantas espontâneas (Tabela 5). Esta situação indica que o consumo de energia armazenada na MOS pelos microorganismos resulta em alta eficiência na mineralização sendo maior quando aumenta a diversidade de plantas no manejo do solo (HUNGRIA *et al.*, 2009). Essa característica contribui para tornar

as plantas espontâneas em mais uma alternativa de adubação verde para a fruticultura.

No período com regime hídrico intermediário (maio), com exceção de solo coberto com plantas espontâneas, o quociente metabólico manteve-se elevado, semelhante ao observado no período de maior pluviosidade (março) em solo coberto com crotalaria, feijão-de-porco e, também, de outubro a março em solo coberto com amendoim forrageiro (Tabela 5). Os menores valores foram observados no período de menor umidade do solo (agosto). O elevado qCO₂ em maio é explicado pela intensa atividade microbiana (Tabela 2) no mesmo período, em decorrência do acúmulo de biomassa vegetal

Tabela 5 - Quociente metabólico (mg C-CO₂ g⁻¹C-mic h⁻¹) de solos em resposta à cinco coberturas de solo e quatro épocas de avaliação, em cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho e mandioca sob cultivo orgânico. Sítio Ecológico Seridó, Rio Branco, Acre, 2011

Cobertura do solo	Estação Chuvosa		Estação Seca	
	Março	Outubro	Maior	Agosto
Plantas espontâneas	0,63 bC	1,37 aA	0,88 aB	0,47 aC
Amendoim forrageiro	1,27 aA ^{ns}	1,08 aA	1,08 aA	0,52 aB
Puerária	0,97 aB	0,97 aB	1,32 aA	0,46 aC
Crotalaria	1,11 aA	0,78 aB	1,26 aA	0,57 aB ^{ns}
Feijão-de-porco	1,29 aA ^{ns}	0,85 aB	1,33 aA	0,38 aC
Solo sob floresta	1,30	1,15	0,42	0,50

CV (época do ano) = 10,37%; CV (cobertura de solo) = 13,28%

F (Época = 47,5** F (Cobertura) = 1,3^{ns} F (Época x Cobertura) = 5,2**

*Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott⁽¹⁾. ⁽²⁾Médias originais cujos dados foram transformados em $\arcsen \sqrt{x/100}$ para atender os pressupostos da análise de variância. Média seguida de "ns" não difere ($P > 0,05$) da média de solo de floresta pelo teste t de Student * significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{ns} não significativo pelo teste F

e da condição de baixa precipitação pluviométrica e manutenção da umidade do solo. Alves *et al.* (2011) relatam que a incorporação de resíduos de culturas ao solo aumenta o quociente metabólico numa relação inversa com a biomassa microbiana sugerindo que em condições de maiores teores de C, pode ocorrer aumento desta e diminuição na atividade metabólica.

O quociente microbiano (qMic) foi maior em solo coberto por plantas espontâneas no período de maior pluviosidade (março) e no período intermediário (maio) comparado às demais coberturas. No período de menor pluviosidade e umidade do solo (agosto) o qMIC foi maior que as demais épocas (Tabela 6).

Verificou-se que o qMIC aumentou da época úmida para a época seca, enquanto o qCO₂ foi reduzido.

Esse aumento do qMIC é decorrente da alta biomassa microbiana no período seco (Tabela 4), respondendo por 10,7 a 14,6% do carbono do solo, resultante da biomassa vegetal acumulada durante o cultivo e mineralizada em solo úmido durante o período chuvoso. Segundo Martins *et al.* (2010) os atributos microbianos do solo variam em função da sazonalidade e da condição hídrica.

Normalmente o carbono da biomassa microbiana (CBM) representa de 1 a 4% do carbono orgânico total e, de modo geral, valores de qMIC inferiores a 1% podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (SILVA *et al.*, 2012). Assim, os menores valores de qMIC na época chuvosa, podem ser decorrentes da disponibilidade de oxigênio no solo. De acordo com Alves *et al.* (2011) em condições de solo seco o CBM é maior em áreas de pastagem com braquiária pelo fato do sistema

Tabela 6 - Quociente microbiano (%) de solos em resposta à cinco coberturas de solo e quatro épocas de avaliação, em cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho e mandioca em cultivo orgânico de produção. Sítio Ecológico Seridó, Rio Branco, Acre, 2011

Cobertura do solo	Estação Chuvosa		Estação Seca	
	Março	Outubro	Maior	Agosto
Plantas espontâneas	10,7 aB	7,7 aB	14,0 aA	13,1 aA
Amendoim forrageiro	5,5 bB	6,3 aB	6,9 bB	11,4 aA
Puerária	6,6 bB	5,9 aB	6,8 bB	10,7 aA
Crotalaria	6,9 bB	8,5 aB	7,6 bB	11,2 aA
Feijão-de-porco	5,7 bB	7,2 aB	7,2 bB	14,6 aA

CV (época do ano) = 14,2%; CV (cobertura de solo) = 24,9%

F (Época = 63,1** F (Cobertura) = 1,7^{ns} F (Época x Cobertura) = 5,1*

*Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Scott-Knott * significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{ns} não significativo pelo teste F

radicular desta espécie ser abundante, volumoso e apresentar contínua renovação e elevado efeito rizosférico.

Os valores elevados de qMIC observados neste trabalho podem ter sido devidos a alta biomassa vegetal produzida, adubação orgânica e ausência de agrotóxicos. Segundo Freitas *et al.* (2011) em cultivo orgânico há maior micorrização e atividade microbiana do solo. Já em cultivo convencional com aplicação de agrotóxicos García-Orenes *et al.* (2010) observaram baixos níveis de respiração basal e de biomassa microbiana do solo.

CONCLUSÕES

1. Em condições de adequada umidade e oxigenação do solo a cobertura com crotalária potencializa a atividade microbiana juntamente com feijão de porco que proporciona maior respiração edáfica;
2. Em período com maior restrição de oxigênio o amendoim forrageiro mantém alta a atividade microbiana;
3. Em período seco a atividade metabólica é baixa indicando maior eficiência no uso do carbono e menor emissão de CO₂ do solo;
4. Em período de maior precipitação pluviométrica a biomassa microbiana é alta em solo sob plantas espontâneas e elevada eficiência metabólica.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, n. 3, p. 215-221, 1978.
- ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 831-871. v. 2.
- ANDERSON, T. H., DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ 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. Ratio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO₂) 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.
- ALVES, T. dos S. *et al.* Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- BEZERRA, M. S.; OLIVEIRA, M. R. V. de; VASCONCELOS, S. D. Does the presence of weeds affect *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation on tomato plants in a semi-arid agro-ecosystem? **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 6, p. 769-775, 2004.
- CAMPOS, B. C. **Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- CASTRO, A. C. *et al.* Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2395-2402, 2008.
- DUDA, G. P. *et al.* Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on c, n and p of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p. (Documentos, 1).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. (2. Ed.) Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 412 p.
- ESPINDOLA, J. A. A. *et al.* Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 415-420, 2006.
- FANIN, N. *et al.* Does variability in litter quality determine soil microbial respiration in an Amazonian rainforest? **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 1014-1022, 2011.
- FIALHO, J. S. *et al.* Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 250-257, 2006.
- FREITAS, N. O. *et al.* Soil biochemistry and microbial activity in vineyards under conventional and organic management at Northeast Brazil. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 2, p. 223-229, 2011.
- GARCÍA-ORENES, F. *et al.* Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. **Soil & Tillage Research**, v. 109, n. 2, p. 110-115, 2010.
- HUNGRIA, M. *et al.* A. Soil microbial activity and crop sustainability in a longterm experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.
- LORANGER-MERCIRISA, G. *et al.* Rapid effects of plant species diversity and identity on soil microbial communities in experimental grassland ecosystems. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, n. 8, p. 2336-2343, 2006.

- LOSS, A. *et al.* Distribuição dos agregados e carbono orgânico influenciados por manejos agroecológicos. **Acta Scientiarum**, v. 31, n. 3, p. 523-528, 2009.
- MARTINS, C. M. *et al.* Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010.
- MIRANDA, E. M. *et al.* Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associados ao amendoim forrageiro em pastagens consorciadas no Estado do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 13-22, 2010.
- OLIVEROS, L. F. C. **Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto em latossolo vermelho do Rio Grande do Sul**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- PRIETO-BENÍTEZ, S.; MÉNDEZ, M. Effects of land management on the abundance and richness of spiders (Araneae): a meta-analysis. **Biological Conservation**, v. 144, n. 2, p. 683-691, 2011.
- SÁ, J. C. de M. *et al.* Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.
- SAKONNAKHON, S. P. N. *et al.* A. Weeds – friend or foe? The role of weed composition on stover nutrient recycling efficiency. **Field Crops Research**, v. 97, n. 2/3, p. 238-247, 2006.
- SILVA, A. C. da; HIRATA, E. K.; MONQUERO, P. A. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 22-28, 2009.
- SILVA, C. F. da. *et al.* Florestais e pastagem no médio vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1680-1689, 2012.
- SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. (Comunicado técnico, 99).
- STOTZKY, G. Microbial respiration. *In*: BLACK, C. A *et al.* (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 1550-1572. v. 2.
- WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2002. 28 p.
- XUE-MEI, H. *et al.* Effects of vegetation type on soil microbial community structure and catabolic diversity assessed by polyphasic methods in North China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 19, n. 10, p. 1228-1234, 2007.
- ZANCHI, F. B. *et al.* Soil CO₂ efflux in Central Amazonia: environmental and methodological effects. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1/2, p. 173-184, 2012.
- ZHANG, M-K.; FANG, L. Effect of tillage, fertilizer and green manure cropping on soil quality at an abandoned brick making site. **Soil & Tillage Research**, v. 93, n. 1, p. 87-93, 2007.