

## Efeito de herbicidas na atividade microbiana do solo cultivado com diferentes genótipos de cana-de-açúcar<sup>1</sup>

*Herbicides effect on microbial activity of soil cultivated with different genotypes sugarcane*

Leandro Galon<sup>2</sup>; Alexandre Ferreira da Silva<sup>3</sup>; Germani Concenção<sup>4</sup>; Evander Alves Ferreira<sup>5</sup>; Daniel Valadão Silva<sup>6</sup>; Ignacio Aspiazú<sup>7</sup>; Antonio Alberto da Silva<sup>8</sup>

**Resumo** - Objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito de herbicidas sobre a atividade microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 5 x 4. No Fator A alocou-se os genótipos de cana-de-açúcar: RB72454, RB835486, RB855113, RB867515 e RB947520 e no B os herbicidas: ametryn (2000 g ha<sup>-1</sup>), trifloxysulfuron-sodium (22,5 g ha<sup>-1</sup>), ametryn + trifloxysulfuron-sodium (1463 + 37 g ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha capinada. Aos 15 e 45 dias após a aplicação dos herbicidas (DAT) coletou-se o solo rizosférico e determinou-se a respiração basal (C-CO<sub>2</sub>), o carbono da biomassa microbiana (CBM) e da razão dessas duas variáveis foi calculado o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>). Os efeitos dos herbicidas na microbiota do solo variaram em função do genótipo, sendo o RB835486 o material que mais influenciou o CBM, principalmente, aos 45 DAT, e o qCO<sub>2</sub> foi mais afetado pelo RB72454. Os herbicidas, em especial o trifloxysulfuron-sodium, alteraram o CBM com incremento desta variável para a maioria dos genótipos tratados, além de promover a redução do qCO<sub>2</sub> nos solos, demonstrando ser o herbicida que menos afetou negativamente os indicadores de qualidade biológica do solo. Os herbicidas ametryn e a mistura de ametryn + trifloxysulfuron-sodium afetam negativamente o C-CO<sub>2</sub>, o CBM e o qCO<sub>2</sub>, em especial quando aplicados sobre o genótipo RB72454.

**Palavras-chaves:** *Saccharum* spp., impacto ambiental, inibidores de ALS e do fotossistema II

**Abstract** - We aimed with this work to evaluate the effects of herbicides on microbial activity of soils planted with sugarcane. The experiment was installed in a randomized blocks design in a factorial scheme 5 x 4 with four replications. Factor A was composed by sugarcane genotypes (RB72454, RB835486, RB855113, RB867515 and RB947520) and B corresponded to the herbicides (ametryn, trifloxysulfuron-sodium and the formulated mixture ametryn + trifloxysulfuron-sodium), and a no herbicide control. At 15 and 45 days after herbicide application (DAT), the rhizospheric soil was collected for determination of the basal respiration (C-CO<sub>2</sub>),

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 08/04/2014 e aceito em 10/06/2015.

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Câmpus Erechim. Erechim, RS, BR. Email: [leandro.galon@uffs.edu.br](mailto:leandro.galon@uffs.edu.br). (\*autor para correspondência).

<sup>3</sup> Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS). Sete Lagoas, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste (CPAO). Dourados, MS, Brasil.

<sup>5</sup> Bolsista PNPd, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Diamantina, MG, BR.

<sup>6</sup> Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mossoró, RN, BR.

<sup>7</sup> Professor da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes). Janaúba, MG, BR.

<sup>8</sup> Professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Viçosa, MG, BR.

microbial biomass carbon (MBC) and the metabolic quotient ( $qCO_2$ ). Herbicide effects on soil microbiote varied with sugarcane genotype. RB835486 was the one which most affected MBC mainly at 45 DAT, and  $qCO_2$  was most affected by RB72454. For herbicides, especially trifloxysulfuron-sodium, there was change in MBC as herbicide dose increased for most genotypes, which also promoted reduction on  $qCO_2$  proving this herbicide to be the one with greatest impact on micro-biological indicators of soils. The herbicides ametryn and mixture ametryn + trifloxysulfuron-sodium negatively affect the C- $CO_2$ , and the CBM  $qCO_2$ , in particular when applied on the genotype RB72454.

**Keywords:** *Saccharum* spp., environmental impact, ALS inhibitors and photosystem II

## Introdução

A produção de biocombustíveis confere uma série de vantagens ao Brasil, uma vez que estes ocasionam menor impacto ao ambiente em relação a outras fontes energéticas. Dentre várias espécies utilizadas na produção de energia, a cana-de-açúcar se destaca tanto do ponto de vista econômico quanto energético e ambiental, como uma das melhores opções para a produção de etanol no Brasil (Shikida & Perosa, 2012).

Em função da crescente demanda global pela produção de biocombustíveis espera-se que a área de cultivo da cana-de-açúcar aumente durante os próximos anos o que acarretará em uma série de mudanças, tanto no âmbito social quanto no ambiental. O aumento da área cultivada implicará na maior utilização de agrotóxicos, em especial herbicidas para o controle de plantas daninhas e isso poderá acarretar impactos negativos no ambiente se usados de forma incorreta.

Dentre os agrotóxicos aplicados nos canaviais, o uso de herbicidas se destaca como um dos principais produtos utilizados. A cana-de-açúcar ocupa o segundo lugar no consumo de herbicidas, perdendo apenas para a soja (SINDAG, 2013). Dentre os herbicidas mais aplicados em cana-de-açúcar, destacam-se o ametryn e o trifloxysulfuron-sodium, sendo que o primeiro é um dos mais usados para controle de dicotiledôneas e o segundo para o manejo de ciperáceas (Giroto et al., 2010; Procópio et al., 2013). Atualmente, é muito comum a utilização de ametryn + trifloxysulfuron-sodium em

mistura comercial para aumentar o espectro de controle de plantas daninhas (Rodrigues & Almeida, 2011). Com a crescente demanda de herbicidas, faz-se necessário o estudo do impacto destes ao ambiente. Dentre as possíveis alternativas para se mensurar o impacto ambiental dos herbicidas, destaca-se o uso de indicadores de natureza biológica como a biomassa microbiana e a evolução de  $CO_2$ . A biomassa microbiana normalmente diminui nos primeiros anos de aplicação de um novo herbicida, devido ao seu impacto direto aos microrganismos do solo; após alguns anos, no entanto, a flora microbiana acaba se adaptando à aplicação do produto havendo predominância de estirpes adaptadas à degradação do herbicida e normalização da flora microbiana (Santos et al., 2005). O  $CO_2$  oriundo do solo, no que tange a este estudo, é oriundo da atividade microbiológica, sendo maior quanto mais intensa for a atividade dos microrganismos.

Esses indicadores devem ser priorizados, devido à rápida resposta que os microrganismos do solo demonstram após um pequeno distúrbio (Powlson et al., 1987; Reis et al., 2008a). A relação entre a biomassa microbiana e a evolução de  $CO_2$  é conhecida como quociente metabólico ( $qCO_2$ ) sendo que maiores valores desta variável são atribuídos a condições estressantes aos microrganismos, e os menores à maior eficiência destes na incorporação de carbono à biomassa. O  $qCO_2$  pode ser considerado o indicador mais adequado para avaliar o efeito das condições de estresse sobre a biomassa microbiana - BM (Anderson & Domsch, 1993) e tem sido amplamente utilizado

em pesquisas com herbicidas (Pereira et al., 2008; Tironi et al., 2009a; Santos et al., 2009; Santos et al., 2010; Camelo et al., 2011).

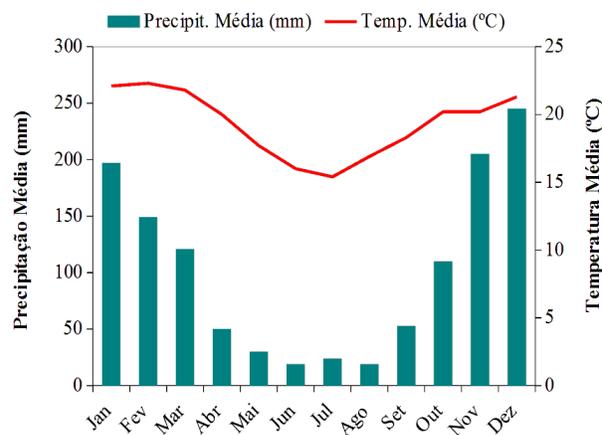
O estudo dos efeitos dos herbicidas sobre os microrganismos do solo pode ser considerado importante ferramenta na determinação de métodos de manejo mais eficientes e de menor impacto ambiental. Neste contexto, objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito de herbicidas sobre a atividade microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar.

## Material e Métodos

O experimento foi instalado a campo na Estação Experimental de Oratórios-MG, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV) durante o período de março a setembro de 2007, em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo. Os dados climáticos médios do local do experimento estão descritos na Figura 1.

As características físico-químicas do solo da área do experimento são fornecidas na Tabela 1. O preparo da área foi realizado pelo

sistema convencional de cultivo, com aração seguida de gradagens e sulcamento, para o plantio das gemas de cana-de-açúcar com distância entre linhas de 1,40 m. A adubação de plantio foi realizada no momento do preparo do solo de acordo com análise química e seguindo-se as recomendações para a cultura da cana-de-açúcar (CFSEMG, 1999).



**Figura 1.** Precipitação e temperatura médias mensais no local de instalação do experimento, em Oratórios-MG, 2007. Fonte: CPTEC-INPE.

**Tabela 1.** Análise físico-química do solo Argissolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento. Oratórios-MG, 2007.

Camada amostrada	pH	P	K <sup>+</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
0-10 cm	5,1	4,5	33	2,15	0,2	1,5	0,7		
SB	CTC (t)	CTC (T)	v	m	MO	Argila	Areia	Silte	
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%		dag kg <sup>-1</sup>		%		
	2,28	2,48	2,48	51	8,0	0,9	39	43	18

<sup>1</sup> Análise realizada no Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltda. pH: em água, relação 1:2,5. P-K: Extrator Mehlich 1. Ca-Mg e Al: extrator KCl - 1 mol L<sup>-1</sup>. H + Al: extrator acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> - pH 7,0. SB: soma de bases trocáveis. CTC (t): Capacidade de troca catiônica efetiva. CTC (T): capacidade de troca catiônica a pH 7,0. v: saturação de bases. m: saturação de alumínio. MO: matéria orgânica = C.org x 1,724 - Walkley-Black.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pelos herbicidas; ametryn (Metrimex 500 SC<sup>®</sup> - 2000 g ha<sup>-1</sup>), trifloxysulfuron-sodium (Envoke<sup>®</sup> - 22,5 g ha<sup>-1</sup>), ametryn + trifloxysulfuron-sodium (Krismat<sup>®</sup> - 1463 + 37 g ha<sup>-1</sup>) e uma

testemunha capinada, sendo aplicados sobre os genótipos de cana-de-açúcar RB72454, RB835486, RB855113, RB867515 e RB947520.

As parcelas foram constituídas por 10 linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento, espaçadas em 1,4 m (14 x 10 m =

140 m<sup>2</sup>), onde uma linha representava um genótipo, sendo que em todas as avaliações realizadas em cada unidade de observação, foi desconsiderado um metro de bordadura das extremidades frontais e laterais, o que dá uma área útil de 112 m<sup>2</sup> em cada unidade experimental.

Os herbicidas foram aplicados em pós-emergência inicial da cana-de-açúcar, aos 70 dias após o plantio, com pulverizador costal de precisão pressurizado a CO<sub>2</sub>, munido com barra de 2 m, acoplados a esta quatro pontas de pulverização da série TT 110.02, espaçadas de 0,5 m, e calibrado para aplicar o equivalente a 150 L ha<sup>-1</sup> de calda. No momento da aplicação a temperatura foi de 23 °C, a velocidade do vento de 5 km h<sup>-1</sup> e a umidade relativa do ar de 73%.

Aos 15 e 45 dias após a aplicação dos herbicidas foram coletadas amostras do solo rizosférico da cana-de-açúcar na profundidade de 0-10 cm. Para o transporte do campo ao laboratório, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração a 4°C. No Laboratório de Herbicidas no Solo da Universidade Federal de Viçosa, as amostras, após peneiradas em malha de 2 mm, secas ao ar e determinado o teor de água, foram pesadas (150 g), incubadas em frascos hermeticamente fechados e mantidos à temperatura entre 23 e 25°C por 15 dias, e ainda, tiveram o seu teor de água padronizado a 60% da capacidade de campo.

A respiração microbiana foi estimada a partir da quantidade de CO<sub>2</sub> evoluído das amostras de solo segundo proposto por Vivian et al. (2006). Após a avaliação de CO<sub>2</sub>, determinou-se o carbono da biomassa microbiana (CBM) pelo método descrito por Vance et al. (1987) utilizando-se, em lugar do clorofórmio (fumigação), forno de microondas (irradiação) (Islam & Weil, 1998). O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi calculado pela relação entre o CO<sub>2</sub> acumulado e o CBM.

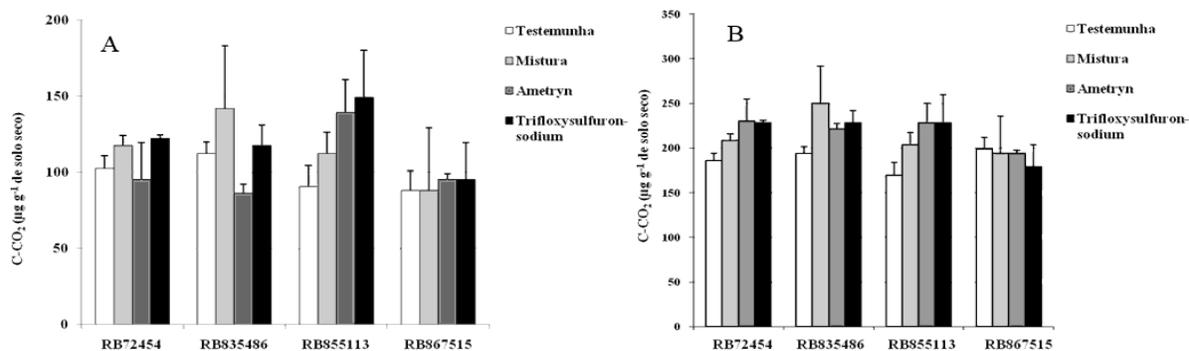
Os dados foram verificados quanto à normalidade e homogeneidade de variâncias dos

erros amostrais, procedendo-se os ajustes necessários para atender aos pressupostos da análise de variância, e submetidos ao teste F, sendo os resultados apresentados na forma de gráficos utilizando-se médias observadas e desvios-padrão.

## Resultados e Discussão

Aos 15 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) observou-se aumento da taxa respiratória (C-CO<sub>2</sub>) dos solos rizosféricos cultivados com o genótipo RB72454 e tratados com trifloxysulfuron-sodium e também com a mistura dos herbicidas (Figura 2A). Todavia, para o genótipo RB835486, bem como para o RB72454, constatou-se redução do C-CO<sub>2</sub> do solo quando houve a aplicação do ametryn, enquanto que para o RB855113 o trifloxysulfuron-sodium e ametryn aumentaram o C-CO<sub>2</sub> diferindo da testemunha sem aplicação. O C-CO<sub>2</sub> do genótipo RB867515 não foi alterado na presença dos herbicidas.

O solo rizosférico cultivado com RB72454, RB835486 e RB855113 apresentaram aumento da C-CO<sub>2</sub>, aos 45 DAT, quando tratado com os três herbicidas (Figura 2B). Para a RB867515 constatou-se comportamento similar ao observado aos 15 DAT, ou seja, os tratamentos herbicidas não ocasionaram diferenças na taxa de respiração microbiana do solo. Esses resultados corroboram aos observados por Reis et al. (2008a) ao relatarem aumento da C-CO<sub>2</sub> após a aplicação do trifloxysulfuron-sodium sobre a cana-de-açúcar cultivada em casa de vegetação. A maior evolução de C-CO<sub>2</sub> dos solos tratados com herbicidas, durante o experimento, é atribuída ao uso destes compostos como fonte de carbono e energia pelos microrganismos (Moreno et al., 2007; Reis et al., 2008a; Santos et al., 2010), que no presente estudo esteve associado também com o genótipo de cana-de-açúcar cultivado.



**Figura 2.** Respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) em solos cultivados com os genótipos de cana-de-açúcar RB72454, RB835486, RB855113 e RB867515, tratados com os herbicidas ametryn, trifloxysulfuron-sodium e a mistura composta por ametryn + trifloxysulfuron-sodium aos 15 (A) e 45 DAT (B). Oratórios-MG, 2007.

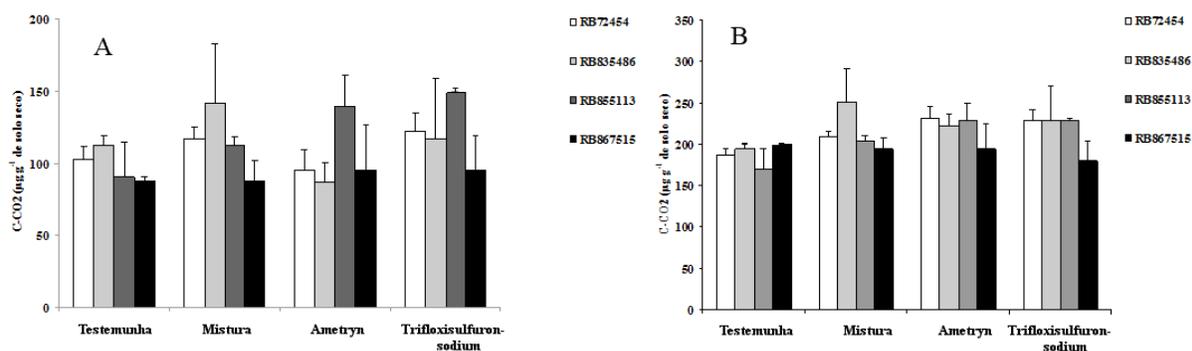
Ao se comparar os genótipos de cana-de-açúcar, aos 15 DAT, dentro dos tratamentos com herbicidas, observou-se que não houve diferença nos valores de C-CO<sub>2</sub> entre genótipos (Figura 3A). Para a mistura herbicida não foi constatada diferença entre os genótipos, exceto para o RB835486 que apresentou maior C-CO<sub>2</sub>. Para o tratamento com o ametryn, o genótipo RB855113 destacou-se em relação aos demais, diferindo da testemunha com maior valor de C-CO<sub>2</sub>, enquanto que para o trifloxysulfuron-sodium notou-se diferenças entre os genótipos RB855113 e RB867515, com maior taxa respiratória para o primeiro. Ressalta-se que os próprios genótipos de cana-de-açúcar podem apresentar diferenciação quanto à respiração microbiana, ou seja, cada cultivar responde de modo diferenciado aos efeitos dos herbicidas sobre os microrganismos presentes no solo em função das características intrínsecas de cada cultivar, sendo essa uma característica genética. Ressalta-se ainda que as condições edafoclimáticas também podem influenciar na maior ou menor atividade dos microrganismos presentes solo e desse modo a degradação dos herbicidas, em especial os que apresentam residual de solo, que são degradados em maior ou menor velocidade e em muitas situações pode-se se ter elevada fitotoxicidade às culturas (Rodrigues & Almeida, 2011). Ferreira et al. (2015) observaram que os herbicidas

tembotrione, MSMA, diuron + hexazinone, sulfentrazone, trifloxysulfuron-sodium, tebuthiuron e clomazone causaram alterações na atividade microbiana do solo cultivado com as cultivares de cana-de-açúcar RB867515 e SP80-1816. Os mesmos autores relatam ainda que a magnitude desses efeitos depende do herbicida aplicado, do genótipo de cana-de-açúcar, das características edafoclimáticas e da época de aplicação e avaliação dos mesmos.

Aos 45 DAT para os herbicidas ametryn, ametryn + trifloxysulfuron e para a testemunha, não foram observadas diferenças entre os genótipos avaliados, exceto para o RB835486 ao se aplicar a mistura de herbicidas e o ametryn (Figura 3B). Já para o trifloxysulfuron-sodium, o RB867515 apresentou menor C-CO<sub>2</sub> do que os outros. Moreno et al. (2007) observaram que solos tratados com atrazine apresentaram maiores taxas respiratórias em relação ao controle (sem aplicação), indicando a possível metabolização do herbicida pela biota do solo. Já Reis et al. (2008a) relataram que nos solos tratados com os herbicidas 2,4-D, ametryn, trifloxysulfuron-sodium e ametryn + trifloxysulfuron-sodium aos 30 DAT, as taxas respiratórias não diferiram entre si, porém, foram superiores à testemunha. Os autores observaram também, que todos os herbicidas, exceto o 2,4-D, estimularam a respiração dos solos, comparados à testemunha, aos 45 e 60

DAT. A interferência do ametryn e do trifloxysulfuron-sodium + ametryn nos microrganismos do solo é atribuída, em parte, não aos ingredientes ativos, mas de outros compostos presentes nas formulações. Pesquisas associam os efeitos dos herbicidas

sobre os microrganismos aos solventes, surfactantes e agentes molhantes presentes nas formulações (Malkones, 2000; Santos et al., 2004) e não somente ao ingrediente ativo presente na formulação.



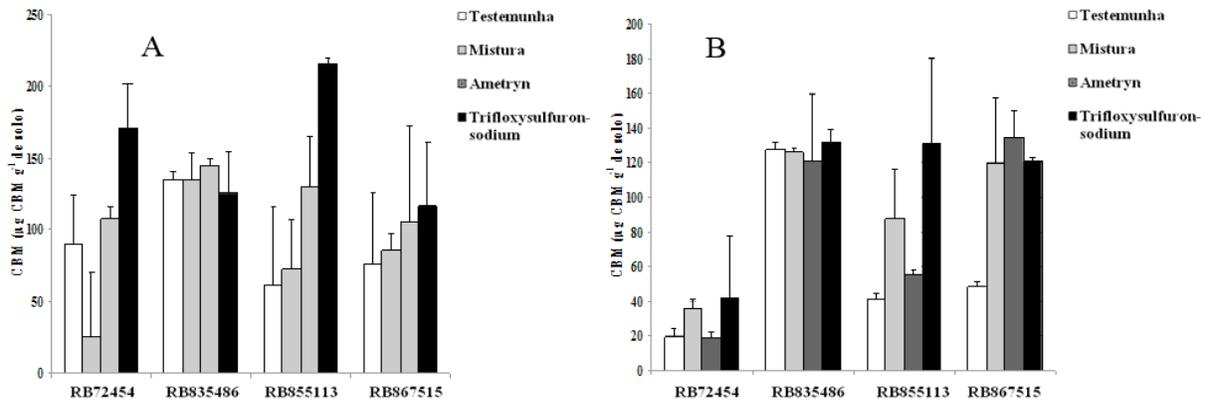
**Figura 3.** Respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) em solos tratados com os herbicidas ametryn, trifloxysulfuron-sodium e a mistura composta por ametryn + trifloxysulfuron-sodium e cultivados com os genótipos de cana-de-açúcar RB72454, RB835486, RB855113 e RB867515 aos 15 (A) 45 (B) DAT. Oratórios-MG, 2007.

Com relação ao carbono da biomassa microbiana (CBM) aos 15 DAT, observou-se diferenças entre os genótipos e também ao efeito dos herbicidas sobre os genótipos testados (Figura 4A). O genótipo de uma cultura pode influenciar o tamanho e a composição da comunidade microbiana através dos exsudatos liberados pelas raízes, que exercem papel chave no estímulo da biomassa microbiana. Tironi et al. (2009b) e Reis et al. (2008b) observaram que os genótipos de cana-de-açúcar apresentam diferentes interações com os microrganismos de solo, o que, provavelmente, pode ser explicado pela característica dos exsudatos radiculares de cada material, sendo isso uma característica genética de cada genótipo.

Ao avaliar o CBM sobre o RB72454, aos 15 DAT, constatou-se que a mistura herbicida diferiu de todos os tratamentos inclusive da testemunha. Para o RB835486 e o RB867515 não foram observadas diferenças entre os tratamentos. No entanto, para o RB855113 o trifloxysulfuron-sodium se destacou em relação aos demais provocando incremento no CBM

neste tratamento (Figura 4A). Reis et al. (2008a) e Tironi et al. (2009a) constataram efeito estimulante desse herbicida sobre microrganismos solubilizadores de fosfatos inorgânico em cana-de-açúcar. De acordo com os autores, este fato pode ser atribuído, em parte, às mudanças no padrão de exsudação radicular do genótipo, alterando a sua interação com os microrganismos do solo.

Aos 45 DAT, não se observou diferenças entre os tratamentos herbicidas nos genótipos RB72454 e RB835486 (Figura 4B). No entanto, para o RB855113 e o RB867515 os tratamentos herbicidas diferiram da testemunha sem aplicação, demonstrando assim haver variabilidade entre os genótipos de cana-de-açúcar quando tratados com herbicidas. Ressalta-se também que em função das características físico-químicas das formulações de herbicidas eles também apresentaram efeitos variados sobre a microbiota do solo e os genótipos da cultura. Fato esse também constatado em trabalho de Ferreira et al. (2012a).

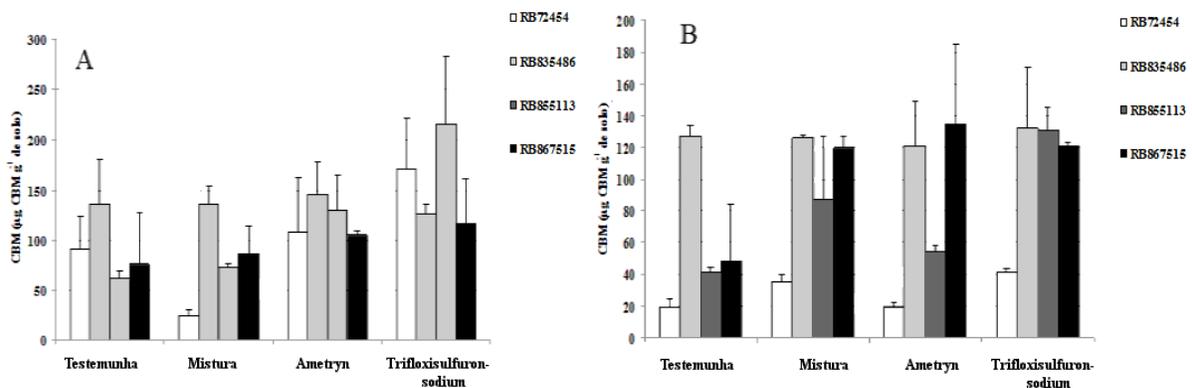


**Figura 4.** Carbono da biomassa microbiana (CBM) em solos cultivados com os genótipos de cana-de-açúcar RB72454, RB835486, RB855113 e RB867515, tratados com os herbicidas ametryn, trifloxysulfuron-sodium e a mistura composta por ametryn + trifloxysulfuron-sodium aos 15 (A) e 45 (B) DAT. Oratórios-MG, 2007.

Não foi observada diferença entre os genótipos sem aplicação de herbicidas, aos 15 DAT, exceção ao RB835486 que apresentou maior CBM do que os demais. Para os solos tratados com ametryn não houve diferença entre os genótipos, nesse mesmo período (Figura 5A). Na presença da mistura herbicida, o solo rizosférico do genótipo RB835486 apresentou maior CBM do que os demais genótipos, enquanto que o RB72454 demonstrou o menor CBM ao ser tratado com o mesmo produto. Para

o trifloxysulfuron-sodium o RB855113 apresentou maior CBM do que RB835486 e RB867515.

Aos 45 DAT, no tratamento sem aplicação de herbicidas, o RB835486 mostrou elevado CBM diferindo dos demais genótipos. Com relação à mistura, o genótipo RB72454 apresentou menor CBM, em relação aos demais. Para o ametryn os genótipos RB835486 e RB867515 apresentaram maior CBM diferindo, desta forma dos demais (Figura 5B).



**Figura 5.** Carbono da biomassa microbiana (CBM) em solos tratados com os herbicidas ametryn, trifloxysulfuron-sodium e a mistura composta por ametryn + trifloxysulfuron-sodium, cultivados com os genótipos de cana-de-açúcar RB72454, RB835486, RB855113 e RB867515 aos 15 (A) e 45 (B) DAT. Oratórios-MG, 2007.

Os valores de biomassa microbiana do solo encontrados neste trabalho corroboram aos

obtidos por Santos et al. (2005) em solo cultivado com feijão, por Vivian et al. (2006) e

Ferreira et al. (2015) em solo onde plantou-se cana-de-açúcar; sendo que todos esses estudos estimaram a biomassa microbiana pelo mesmo método utilizado no presente trabalho. Reis et al. (2008a) evidenciaram efeito redutivo no carbono da biomassa microbiana, em relação à testemunha, nas amostras de solos tratados com a mistura ametryn+trifloxysulfuron-sodium dos 15 aos 60 DAT (redução média de 23,6%) e com ametryn aos 15 DAT (redução média de 14,1%).

O comportamento diferencial dos microrganismos rizosféricos dos genótipos em relação a aplicação dos herbicidas, pode estar relacionado ao nível de tolerância dos materiais utilizados no ensaio, ou seja, os genótipos de cana-de-açúcar apresentam distintas características genéticas que faz com que haja diferenças marcantes entre os mesmos. Diversos trabalhos demonstram comportamento diferencial de genótipos de cana-de-açúcar quanto à tolerância a herbicidas (Ferreira et al., 2005; Galon et al., 2009; Ferreira et al., 2012 a e b; Galon et al., 2013), o que acarreta diferentes níveis de estresse a cultura após a aplicação de herbicidas, com exsudação distinta de compostos pelas raízes em função do estresse. Isto, por sua vez, pode afetar de maneira diferencial o CBM, dependendo da resposta do genótipo envolvido.

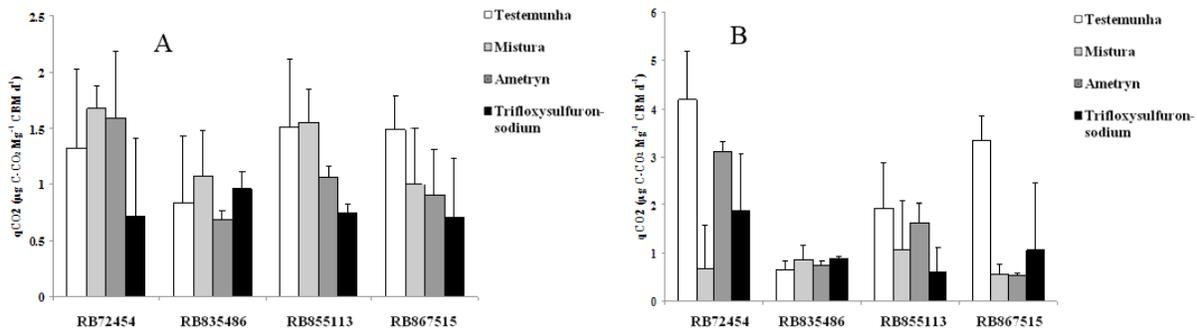
A resposta da biomassa microbiana, também, pode variar em função do tipo de solo e das características do comportamento do herbicida no ambiente. Essa interação herbicida-solo-microrganismo é demonstrada em alguns trabalhos, onde, por exemplo, o atrazine não provocou alterações na CBM de solo arenoso (Ghani et al., 1996) e, por outro lado, favoreceu o aumento do CBM em solo argiloso e com alto teor de matéria orgânica (Moreno et al., 2007), sendo que em ambos os trabalhos não houve o cultivo de plantas.

Outro indicador de qualidade do solo é o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), proposto por Anderson & Domsch (1993), o qual prediz que,

à medida que a biomassa microbiana se torna eficiente em utilizar os recursos, menor quantidade de carbono é perdida como  $CO_2$  pela respiração, sendo este imobilizado no tecido microbiano; conseqüentemente, menor  $qCO_2$  representa biomassa microbiana mais estável, ou ambiente com menor grau de distúrbio.

Com relação aos valores do quociente metabólico ( $qCO_2$ ), aos 15 DAT observou-se que o tratamento com trifloxysulfuron-sodium diferiu da mistura e do ametryn quando aplicados sobre o genótipo RB72454. Para o genótipo RB867515 a aplicação de ametryn e de trifloxysulfuron-sodium diferiram da testemunha sem aplicação (Figura 6A). O solo rizosférico do genótipo RB835486 quando tratado com ametryn diferiu de todos os outros, apresentando o menor  $qCO_2$ . Para o genótipo RB855113 os tratamentos com trifloxysulfuron-sodium e com ametryn apresentaram decréscimo do  $qCO_2$  em relação a testemunha.

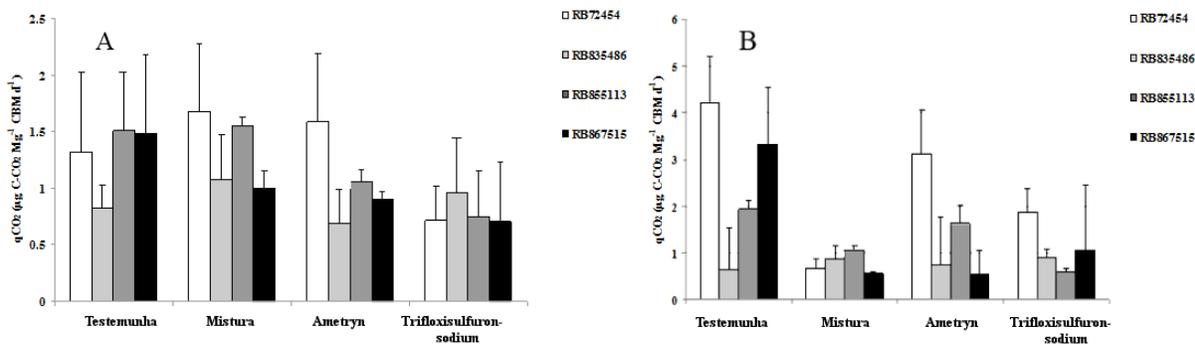
Aos 45 DAT não se observou diferença entre os tratamentos para o genótipo RB835486. Porém para o RB855113 o trifloxysulfuron-sodium diferiu dos demais aplicados sobre esse genótipo (Figura 6B). Para o RB72454 a mistura herbicida proporcionou o menor  $qCO_2$ , seguido de ametryn e trifloxysulfuron-sodium. A testemunha do genótipo RB867515 apresentou maior  $qCO_2$  do que os tratamentos herbicidas. Reis et al. (2008a) ao trabalharem em casa-de-vegetação, constataram que os herbicidas ametryn e trifloxysulfuron-sodium, isolados ou em mistura, alteraram de forma distinta o  $qCO_2$  da cana-de-açúcar. Os autores observaram maiores valores do quociente metabólico aos 45 e 60 DAT, do que aos 30 DAT. Neste mesmo trabalho, Reis et al. (2008a) concluíram que, o ametryn isolado e em mistura com trifloxysulfuron-sodium propiciou condições mais estressantes para a microbiota, sendo estas representadas pelos maiores valores de quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ).



**Figura 6.** Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) em solos cultivados com os genótipos de cana-de-açúcar RB72454, RB835486, RB8555113 e RB867515 e tratados com os herbicidas ametryn, trifloxysulfuron-sodium e a mistura composta por ametryn + trifloxysulfuron-sodium aos 15 (A) e 45 (B) DAT. Oratórios-MG, 2007.

Não foi observada diferenças no  $qCO_2$  entre os genótipos nas parcelas sem tratamento de herbicidas aos 15 DAT, exceção para o genótipo RB835486 que apresentou o menor valor para essa variável ao se comparar aos demais (Figura 7A). O genótipo RB72454 apresentou maior  $qCO_2$  para os tratamentos que envolveram a mistura formulada comercialmente e o ametryn. Não ocorreu

diferença ao se aplicar o trifloxysulfuron-sodium para todos os genótipos de cana-de-açúcar testados para a variável em estudo aos 15 DAT. Como já comentado anteriormente essas diferenças devem-se em função das características genéticas do próprio genótipo de cana-de-açúcar e também das características físico-químicas do herbicida aplicado.



**Figura 7.** Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) em solos tratados com os herbicidas ametryn, trifloxysulfuron-sodium e a mistura composta por ametryn + trifloxysulfuron-sodium e cultivados com os genótipos de cana-de-açúcar RB72454, RB835486, RB8555113 e RB867515 aos 15 (A) e 45 (B) DAT. Oratórios-MG, 2007.

Os resultados demonstram aos 45 DAT, que a testemunhas dos genótipos RB72454 e RB867515 apresentaram maior  $qCO_2$  do que os demais (Figura 7B). Já para a mistura herbicida, os genótipos RB855113 e RB835486 apresentaram maior  $qCO_2$  do que o RB867515. Para o ametryn o RB72454 se destacou em

relação aos demais apresentando elevado  $qCO_2$ . Nos tratamentos onde foram aplicados o herbicida trifloxysulfuron-sodium o RB72454, novamente, foi o genótipo que apresentou maior  $qCO_2$ , porém sem diferir do RB867515 (Figura 7B).

A especificidade de resposta dos indicadores microbiológicos do solo em função dos genótipos testados demonstra que o uso desses indicadores (C-CO<sub>2</sub>, CBM e qCO<sub>2</sub>) pode não ser o melhor parâmetro para prever o impacto dos herbicidas ametryn e trifloxysulfuron-sodium no ambiente. Maiores estudos sobre o tema se fazem necessário.

## Conclusões

Os efeitos dos herbicidas na microbiota do solo variaram em função do genótipo. O RB835486 foi o material que mais influenciou o CBM, principalmente, aos 45 DAT, e o qCO<sub>2</sub> foi mais afetado pelo RB72454. Os herbicidas, em especial o trifloxysulfuron-sodium, alteraram o CBM com incremento desta variável para a maioria dos genótipos tratados, além de promover a redução do qCO<sub>2</sub> nos solos, demonstrando ser o herbicida que menos afetou negativamente os indicadores de qualidade biológica do solo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsas e auxílio financeiro para a execução da pesquisa.

## Referências

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such pH, on microbial biomass of forest soil. **Biology and Fertility Soils**, v.25, n.3, p.393-395, 1993.

CAMELO, G.N. et al. Efeito do sistema de plantio e doses do nicosulfuron sobre a atividade microbiana do solo. **Planta Daninha**, v.29, n.4, p.829-835, 2011.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.

FERREIRA, E.A. et al. Herbicidas interferem na microbiota associada à rizosfera da cana-de-açúcar. **Revista Trópica**, v.26, n.1, p.84-96, 2012b.

FERREIRA, E.A. et al. Herbicides interfere in the microbiota associated to sugarcane rhizosphere. **Australian Journal of Crop Science**, NO PRELO, 2015.

FERREIRA, E.A. et al. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura de trifloxysulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**, v.23, n.1, p.93-99, 2005.

FERREIRA, E.A. et al. Toxicidade de herbicidas a genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Trópica**, v.26, n.1, p.84-96, 2012a.

GALON, L. et al. Efeito de herbicidas nos componentes de rendimento de genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p.131-142, 2013.

GALON, L. et al. Seletividade de herbicidas a genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.27, n.especial, p.1083-1093, 2009.

GHANI, D. A. et al. Interactions between <sup>14</sup>C-labelled atrazine and the soil microbial biomass in relation to herbicide degradation. **Biology and Fertility Soils**, v.21, n.1, p.17-22, 1996.

GIROTTO, M. et al. Eficiência fotossintética da cana-de-açúcar após a aplicação de herbicidas S-metolachlor e atrazine em pós-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.9, n.3, p.109-116, 2010.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility Soils**, v.27, n.4, p.408-416, 1998.

MALKONES, H. P. Comparison of the effects of differently formulated herbicides on soil microbial activities a review. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v.8, n.5, p.781-789, 2000.



- MORENO, J.L. et al. Effects of atrazine on microbial activity in semiarid soil. **Applied Soil Ecology**, v.35, n.1, p.120-127, 2007.
- PEREIRA, J.L. et al. Effects of glyphosate and endosulfan on soil microorganisms in soybean crop. **Planta Daninha**, v.26, n.4, p.825-830, 2008.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, n.2, p.159-164, 1987.
- PROCÓPIO, S.O. et al. Plantas Daninhas. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.. (Org.). **Cana-de-açúcar: do plantio à colheita**. 1ed. Viçosa/MG: UFV, 2013, p. 117-152.
- REIS, M.R. et al. Ação de herbicidas sobre microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico em solo rizosférico de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.333-341, 2008b.
- REIS, M.R. et al. Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, 2008, v.26, n.2, p.323-331, 2008a.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6 ed. Londrina: Edição dos autores, 2011. 697p.
- SANTOS, E.A. et al. Atividade rizosférica de solo tratado com herbicida durante processo de remediação por *Stizolobium aterrimum*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.1, p.1-7, 2010.
- SANTOS, J.B. et al. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v.23, n.4, p.683-691, 2005.
- SANTOS, J.B. et al. Efeitos de diferentes formulações comerciais de glyphosate sobre estirpes de *Bradyrhizobium*. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.293-299, 2004.
- SANTOS, J.B. et al. Biodegradation of glyphosate in rhizospheric soil cultivated with *Glycine max*, *Canavalia ensiformis* e *Stizolobium aterrimum*. **Planta Daninha**, v.27, n.4, p.781-787, 2009.
- SHIKIDA, P.F.A.; PEROSA, B.B. Álcool combustível do Brasil e path dependence. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.50, n.2, p.243-262, 2012.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA A DEFESA AGRÍCOLA –SINDAG. **Investimento em tecnologia produziu safra recorde, afirmam Andef e Sindag**. 2013. Disponível em: < [http://sindiveg.org.br/docs/MERCADO\\_DEF\\_AG\\_2012\\_2013\\_VERSAO\\_FINAL\\_4\\_3\\_13.pdf](http://sindiveg.org.br/docs/MERCADO_DEF_AG_2012_2013_VERSAO_FINAL_4_3_13.pdf) >. Acesso em: 03 set. 2013.
- TIRONI, S.P. et al. Ação de herbicidas na atividade de bactérias solubilizadoras de fosfato da rizosfera de cana-de-açúcar, **Planta Daninha**, v.27, n.4, p.747-754, 2009b.
- TIRONI, S.P. et al. Efeito de herbicida na atividade microbiana do solo. **Planta Daninha**, v.27, n.especial, p.995-1004, 2009a.
- 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.
- VIVIAN, R. et al. Persistência de sulfentrazone em Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.24, n.4, p.741-750, 2006.