

EFEITOS DE HERBICIDAS NA ATIVIDADE DA MICROBIOTA RIZOSFÉRICA E NO CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR

HERBICIDE EFFECTS ON THE ATIVIDADE RHIZOSPHERIC MICROBIAL AND GROWTH OF SUGAR CANE

Autieres Teixeira FARIA¹; Douglas Teixeira SARAIVA²; Ariana Mota PEREIRA³; Paulo Roberto Ribeiro ROCHA⁴; Antonio Alberto da SILVA⁵; Daniel Valadão SILVA⁶; Evander Alves FERREIRA⁷; Gustavo Soares da SILVA³

1. Doutorando em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, Brasil. autieresteixeira@yahoo.com.br.; 2. Graduando em Zootecnia, UFV, Viçosa, MG, Brasil; 3. Graduando em Agronomia - UFV, Viçosa, MG, Brasil; 4. Pós - doutorando em Produção Vegetal, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR, Brasil; 5. Professor, Doutor em Fitotecnia, UFV, Viçosa, MG, Brasil; 6. Pós - doutorando em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri; 7. Doutorando em Fitotecnia, UFV, Viçosa, MG, Brasil.

RESUMO: Objetivou-se neste trabalho avaliar os efeitos de herbicidas na atividade da microbiota rizosférica e no crescimento da cana-de-açúcar. Para isso, sete herbicidas (tembotrione, MSMA, diuron+hexazinone, sulfentrazone, trifloxysulfuron-sodium, tebutiuron e clomazone) foram aplicados em pós-emergência da cana-de-açúcar cultivada em vaso contendo 12 dm³ de substrato (solo + fertilizantes). Foram avaliados os efeitos desses produtos na evolução do CO₂ do solo (C-CO₂), no carbono da biomassa microbiana (CBM), no quociente metabólico (qCO₂), na atividade da enzima fosfomonoesterase ácida do solo rizosférico em amostras de solo coletadas aos 44 dias após aplicação dos herbicidas (DAT) e os efeitos no crescimento aos 77 DAT. Inicialmente os herbicidas MSMA, clomazone, sulfentrazone e trifloxysulfuron-sodium causaram intoxicação à cultura. Todavia, apenas nas plantas tratadas com o trifloxysulfuron-sodium esses sintomas permaneceram visíveis no momento da colheita do experimento. Quanto aos efeitos dos herbicidas sobre a atividade da microbiota rizosférica da cana-de-açúcar, o sulfentrazone e tebutiuron reduziram a C-CO₂ e o MSMA, tebutiuron e clomazone reduziram o CBM do solo. O clomazone foi o herbicida que causou o maior impacto na atividade da microbiota, pois aumentou o valor do qCO₂. Por outro lado, o sulfentrazone reduziu os valores dessa variável, contribuindo para o equilíbrio da microbiota no solo. Não houve influência dos herbicidas na atividade da fosfomonoesterase ácida do solo rizosférica da cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa microbiana. Respiração do solo. Quociente metabólico. Controle químico. *Saccharum officinarum* L.

INTRODUÇÃO

O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar é uma das melhores alternativas do ponto de vista econômico, energético e ambiental para a produção de bicomcombustível no Brasil. Estima-se que o Brasil poderá suprir metade da demanda mundial de etanol, uma vez que existem pressões para que cerca de 10% da gasolina mundial seja substituída por esse produto até o ano de 2025, valor correspondente a 200 bilhões de litros de álcool por ano (COLOMBO, 2006).

De modo geral, a produção e o mercado de bicomcombustível mundial são amplamente discutidos, mas é dada pouca importância às etapas anteriores a industrial, na obtenção da matéria-prima e suas consequências sócio-econômicas e ambientais. Acredita-se que o monocultivo contínuo proporciona um ambiente uniforme, modificando a diversidade dos substratos para a microbiota do solo. Esse fato poderá alterar as propriedades microbiológicas do solo, como, por exemplo,

carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana do solo e atividades específicas dos microrganismos – fixação de nitrogênio e solubilização de fosfato inorgânico; tendo como consequência menor crescimento da cultura.

No manejo de plantas daninhas da cultura da cana-de-açúcar são utilizados grandes volumes de herbicidas, sendo a cana-de-açúcar uma das culturas que mais consomem esses produtos no Brasil (IEA, 2012). Entretanto, diversos trabalhos têm mostrado que os herbicidas interferem na atividade dos microrganismos do solo, devido à metabolização desses produtos pelos organismos e intoxicação da biota do solo (SANTOS et al., 2005; Tuffi SANTOS et al., 2005; VIVIAN et al., 2006).

Das (2003) e Tótola et al. (2002) enfatizaram que as atividades dos microrganismos estão envolvidas no ciclo biogeoquímico dos elementos (C, N, P e S). A dinâmica dos microrganismos do solo podem ser estudadas estimando-se a biomassa microbiana, evolução de CO₂ (C-CO₂), e quociente metabólico (qCO₂) do

solo. Destacando-se último, como o melhor indicador da qualidade do solo, que relaciona a atividade metabólica pela biomassa microbiana. Além dos citados outros indicadores sensíveis as alterações provocadas no solo são as enzimas, como a fosfomonoesterase ácida. Em se tratando das funções da microbiota do solo, as enzimas fosfatases são de grande importância, principalmente para solos que apresentam baixa disponibilidade de fósforo (P) em solução. Pois, nesse caso, a mineralização pode suprir até 80% da exigência de P para as plantas (TIESSEN et al., 1984). Segundo Chaer e Tótola (2007), a atividade das enzimas fosfatases são considerados indicadores microbiológicos e bioquímicos associados ao ciclo do P, e esses indicadores podem ser influenciados pelo manejo aplicado ao solo, podendo ser influenciado pela presença de herbicidas.

Além dos danos indiretos, os herbicidas também podem provocar danos diretos a cultura da cana-de-açúcar, promovendo intoxicação que podem comprometer o crescimento das plantas (FERREIRA et al., 2005) e a produtividade de colmos, e até mesmo interferir negativamente na qualidade tecnológica dos colmos colhidos (GALON et al., 2010). Desse modo o uso de herbicidas pode modificar a dinâmica dos microrganismos do solo e na sua fertilidade. Além disso, a atividade da microbiota do solo pode influenciar a atividade e persistência dos herbicidas no solo tendo como consequência efeitos na eficiência dos herbicidas no controle das plantas daninhas e no crescimento e desenvolvimento das culturas.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho determinar o potencial do uso dos herbicidas tembotrione, MSMA, diuron + hexazinone, sulfentrazone, trifloxysulfuron-sodium, tebuthiuron e clomazone em aplicações em pós-emergência da cana-de-açúcar e avaliar os impactos desses produtos nos indicadores microbiológicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, durante o período de janeiro a março de 2011. Cada vaso com capacidade volumétrica de 12 dm³ preenchidos com Latossolo Vermelho Amarelo, previamente corrigido e adubado, representou uma unidade experimental. Para adequação do substrato (Tabela 1) à nutrição das plantas, foram aplicados o equivalente a 250 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 220 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 30 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura aos 30 dias após a emergência da cultura, na dose de 90 kg ha⁻¹ de uréia previamente dissolvida em água. As irrigações foram feitas diariamente, por sistema automático de microaspersão. Foram plantadas duas gemas por vaso da cultivar de cana-de-açúcar RB 925345, e após a emergência das plantas realizou-se o desbaste, deixando uma planta por unidade experimental.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo do solo utilizado no experimento

pH H ₂ O	em	MO	P	K	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H Al	+	SB	t	T	V	Areia	Silte	Argila
		dag/kg	-- mg/dm ³		----- -----											----- -----
4,7		2,10	0,9	25	1,0	0,5	0,2	5,12		0,76	1,76	5,88	13	62	10	38

Análise realizada no Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltda; CTC (T): Capacidade da troca de cátions (pH 7); CTC (t): Capacidade de troca de cátions efetiva; V: Saturação de bases; m: Saturação de alumínio; MO: matéria orgânica.

Os tratamentos foram constituídos pela aplicação em pós-emergência da cana-de-açúcar dos herbicidas: Soberan[®] (tembotrione, 84 g. i.a. ha⁻¹), Volcane[®] (MSMA, 2370 g. i.a. ha⁻¹), Velpar-K[®] (diuron+hexazinone; 936 e 264 g. i.a. ha⁻¹), Solara[®] 1,2 (sulfentrazone, 600 g.i.a.ha⁻¹), Envolke[®] (trifloxysulfuron-sodium, 22,5 g. i.a. ha⁻¹), Combine[®] (tebuthiuron, 1000 g. i.a. ha⁻¹), Gamit 360 (clomazone, 1080 g.i.a. ha⁻¹) e uma testemunha sem aplicação de herbicida. O delineamento

experimental foi o de blocos inteiramente casualizados, com três repetições.

Os herbicidas foram aplicados 50 dias após emergência da cultura, com o uso de pulverizador costal pressurizado por CO₂ equipado com uma ponta de pulverização da série TT 110.02, calibrado para aplicar o equivalente a 150 L ha⁻¹ de calda herbicida.

A intoxicação visual das plantas pelos herbicidas foi avaliada visualmente aos 7, 21, 35, 42

e 54 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT), de acordo com escala percentual, na qual 0 (zero) correspondeu à ausência de intoxicação e 100% à morte das plantas.

Aos 44 DAT foram coletadas amostras de solo da região do sistema radicular da plantas de cana-de-açúcar, as quais foram conduzidas até ao Laboratório de Herbicidas no Solo onde foi determinada a evolução de CO₂ do solo, a biomassa microbiana (CBM), o quociente metabólico (qCO₂) e a atividade da fosfomonoesterase ácida.

Para análise da evolução de CO₂ do solo foi utilizado o método respirométrico, no qual amostras de 100 g de solo em base seca foram incubadas, padronizando as amostras a umidade de 70% da capacidade de campo. As amostras de solo foram incubadas por 15 dias em frascos hermeticamente fechados. O C-CO₂ liberado do solo foi carregado por fluxo contínuo de ar (isento de CO₂) até outro frasco contendo 100 mL de solução de NaOH 0,50 mol L⁻¹, ao final do período de incubação foi estimado o C-CO₂ evoluído a partir da titulação de 10 mL da solução de NaOH com solução de HCl 0,2 mol L⁻¹, foi utilizado frascos sem solo, servindo como amostra “branco” em relação às demais para avaliar a qualidade do experimento.

No final do período de incubação, foi determinado o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM). Para essa determinação foi utilizado o método descrito por Vance et al. (1987), modificado por Islam e Weil (1998). Para isso foi coletado, de cada frasco, duas amostras com 18 g de solo. Uma das amostras foram submetidas a irradiação em forno de microondas (60 + 60 s) Em seguida foram adicionados 80 mL da solução de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ nas amostras de solo (irradiadas e não irradiadas). Essas que foram submetidas à agitação por 30 min, em mesa agitadora horizontal, permanecendo posteriormente em repouso por 30 min. Após o repouso as amostras foram filtradas em filtros de papel Whatman n. 42.

Após a filtração foram adicionados em tubos 10 mL do filtrado, adicionando-se também 2 mL de solução de K₂Cr₂O₇ 0,0667 mol L⁻¹, 5 mL de H₃PO₄ concentrado e 10 mL de solução de H₂SO₄ 0,2 mol L⁻¹. Posteriormente, o volume foi completado para 100 mL com água destilada. As amostras transferidas para frascos erlenmeyers de 250 mL, adicionando o indicador ferroin (oito gotas), sendo titulado com solução 0,033 mol L⁻¹ de (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ até mudança da cor verde para vermelho-tijolo. A partir dos valores obtidos da evolução do C-CO₂ e CBM, foi calculado o qCO₂ (µg g⁻¹ d⁻¹ de C-CO₂), dividindo-se a média do C-

CO₂ evoluído diariamente do solo pelo CBM do solo.

Para avaliação da atividade de fosfomonoesterase ácida do solo foi utilizada a metodologia proposta por Tabatabai e Bremmer, 1969. Um g de solo e 0,2 mL de tolueno foram transferido para tubo de ensaio, este contendo 4 mL da solução tampão ácida (pH 6,5) composta de: 12,1 g de tris(hidroximetil)aminometano (THAM), 11,6 g de ácido maleico, 14,0 g de ácido cítrico e 6,3 g de ácido bórico e 20 g de hidróxido de sódio L⁻¹ de solução. Foi adicionado aos tubos 1 mL da solução de p-nitrofenilfosfato dissódico tetraidratado (C₆H₄NNaO₆P.4H₂O), 0,05 mol L⁻¹, usada como substrato para a enzima. Os tubos foram incubados por 1 hora a 37 °C. Após a incubação adicionou-se 1 mL de CaCl₂ 0,5 mol L⁻¹ e 4 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹, submetendo-os à agitação e filtração lenta em papel filtro. A concentração de p-nitrofenol foi quantificada no filtrado, em leitura de absorvância à 420 nm. Utilizando como referência uma curva padrão de concentração de p-nitrofenilfosfato conhecida, sendo expresso em µg p-nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹.

No momento da aplicação e aos 70 DAT foram determinados o diâmetro do caule e altura das plantas, para o cálculo do incremento em altura e diâmetro dos colmos das plantas submetidas a cada tratamento. Aos 70 DAT foi coletada a parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, que foram colocadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa de circulação de ar a 60±3 °C até massa constante, determinando-se a massa da matéria seca da parte aérea dessas plantas.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando os efeitos foram significativos procedeu-se o teste de médias de Duncan, a 5% de probabilidade. Para a variável intoxicação visual das plantas de cana-de-açúcar submeteu-se o valores em porcentagem a análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os efeitos dos herbicidas sobre o CBM do solo observou-se que os tratamentos com tembotrione, diuron+hexazinone, sulfentrazone e trifloxysulfuron-sodium não interferiram significativamente nessa variável (Tabela 2). No entanto, os herbicidas clomazone, MSMA e tebuthiuron influenciaram negativamente o CBM, indicando a maior sensibilidade dos microrganismos a esses herbicidas.

O tebuthiuron mostrou-se o herbicida com maior capacidade de influenciar a população microbiana, limitando o seu crescimento, como

pode ser observado pelos baixos valores do CBM. Reis et al. (2008) também relataram a toxicidade de herbicidas do grupo das uréias, grupo em que pertence o tebuthiuron, na biomassa microbiana do solo. Esse grupo de herbicidas atua inibindo a fotossíntese, sendo provável os efeitos deletérios aos microrganismos fotossintetizantes. Além disso, pode haver efeito de toxidez aos microrganismos causado pelos produtos inertes da formulação dos herbicidas comerciais, como observado por Santos et al. (2004). Neste trabalho conclui-se que os maiores efeitos tóxicos são causados por compostos presentes na formulação e não pelo princípio ativo do herbicida glyphosate.

A evolução de CO₂ (C-CO₂) do solo apresentou-se menor nos tratamentos onde foram aplicados os herbicidas sulfentrazone e tebuthiuron

(Tabela 2). O tebuthiuron pode, provavelmente, ter causado a intoxicação a algumas classes de microrganismos, ocasionando a redução populacional desses, como observado na avaliação do CBM, e conseqüentemente, reduzindo a respiração microbiana. Esse resultado corrobora com os observado por Santos et al. (2005). No entanto, o sulfentrazone pode ter causado um impacto positivo na atividade microbiana do solo, tornando-a mais equilibrada, reduzindo a liberação de CO₂ para o meio que pode ser sinal de melhor eficiência de uso dos recursos do solo (SAKAMOTO; OBO, 1994). Os tratamentos com MSMA, diuron+hexazinone, sulfentrazone, trifloxysulfuron-sodium, clomazone não diferiram da testemunha sem aplicação de herbicida.

Tabela 2. Carbono da biomassa microbiana (CBM) e evolução de CO₂ (C-CO₂) do solo cultivado com cana-de-açúcar e na presença de herbicidas

Herbicidas ¹	CBM	C-CO ₂
Tembotrione ¹	157,71 abc	186,73 abc
MSMA ²	118,48 cd	184,52 abc
Diuron + Hexazinone ³	169,28 ab	162,16 bcd
Sulfentrazone ⁴	149,48 abc	132,00 d
Trifloxysulfuron-Sodium ⁵	157,89 abc	159,39 bcd
Tebuthiuron ⁶	89,35 d	146,67 cd
Clomazone ⁷	134,52 bc	231,00 a
Testemunha	189,83 a	200,84 ab
CV (%)	16,25	14,84

¹/ Marca comercial: Soberan[®] 200 mL ha⁻¹; ²/ Marca comercial: Volcane[®] 3 L ha⁻¹; ³/ Marca comercial: Velpar K GW[®] - 2kg ha⁻¹; ⁴/ Marca comercial: Solará[®] 1,2 L ha⁻¹; ⁵/ Marca comercial Envoke[®] 30 g ha⁻¹+ Surfataante Aureo[®] 1L ha⁻¹; ⁶/ Marca comercial: Combine 500 SC[®] 2,0 kg ha⁻¹; ⁷/ Marca comercial: Gamit[®] 3 L ha⁻¹; ⁸/Médias seguidas pela primeira letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A relação entre o C-CO₂ e o CBM proporciona o denominado quociente metabólico (qCO₂) proposto por Anderson e Domsch (1985) e prediz que, a medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente em utilizar os recursos do meio, menor C é perdido como CO₂ pela respiração, podendo esse ser incorporado aos tecidos microbianos.

Com relação ao qCO₂, observou-se que os herbicidas clomazone promoveu maior valor dessa variável no solo cultivado com a cana-de-açúcar, diferindo-se da testemunha (Tabela 3), indicando que a biomassa microbiana se torna menos eficiente na presença desses produtos. Os demais herbicidas estudados não interferiram significativamente no

qCO₂, indicando a semelhança entre a eficiência metabólica dos microrganismos na presença desses herbicidas. Observa-se que o tebuthiuron não causou alterações nessa variável, mesmo causando a redução do CBM e também da C-CO₂ do solo, evidenciando que esse herbicida pode ser letal para um grupo de microrganismos, o que causou a redução da biomassa desses, mas não causa efeito nas demais populações.

A atividade da enzima fosfomonoesterase ácida do solo não foi influenciada pela presença de nenhum desses herbicidas (Tabela 3). Isso indica que os herbicidas utilizados não apresentam efeito tóxico para essa enzima, como observado em outros estudos, onde os herbicidas apresentaram alterações

em outras variáveis microbiológicas do solo, mas não causaram alterações na atividade dessa variável (REIS et al., 2009). Nesse mesmo estudo, os autores observaram que a atividade da enzima

fosfomonoesterase foi influenciada pela cultivar de cana-de-açúcar, mas não foi influenciada pelos herbicidas que foram aplicados.

Tabela 3. Quociente metabólico (qCO_2) e atividade de fosfatase do solo cultivado com cana-de-açúcar e na presença de herbicidas

Herbicidas ¹	qCO_2	Fosfatase
Tembotrione ¹	1,19 abc	118,89 a
MSMA ²	1,62 ab	116,56 a
Diuron + Hexazinone ³	1,00 bc	118,32 a
Sulfentrazone ⁴	0,90 c	117,29 a
Trifloxysulfuron-Sodium ⁵	1,06 bc	120,26 a
Tebulthiuron ⁶	1,63 ab	119,48 a
Clomazone ⁷	1,74 a	117,98 a
Testemunha	1,06 bc	118,72 a
CV (%)	25,76	1,71

^{1/} Marca comercial: Soberan® 200 mL ha⁻¹; ^{2/} Marca comercial: Volcane® 3 L ha⁻¹; ^{3/} Marca comercial: Velpar K GW®- 2kg ha⁻¹; ^{4/} Marca comercial: Solara® 1,2 L ha⁻¹; ^{5/} Marca comercial Envoke® 30 g ha⁻¹+ Surfatante Aureo® 1L ha⁻¹; ^{6/} Marca comercial: Combine 500 SC® 2,0 kg ha⁻¹; ^{7/} Marca comercial: Gamit® 3 L ha⁻¹; ^{8/}Médias seguidas pela primeira letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

As plantas de cana-de-açúcar apresentaram os maiores sintomas de intoxicação visual aos 7 DAT dos herbicidas MSMA, clomazone e sulfentrazone (Figuras 1 e 2). Comparando o efeito da intoxicação com o período após a aplicação, observou-se que o herbicidas MSMA proporcionou aumento da intoxicação das plantas até os 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) e redução

dessa variável após esse período (Figura 1). O MSMA é um herbicida que apresenta efeito de contato (SILVA; SILVA, 2007) e recomendado para aplicações em pós-emergência dirigida, desse modo, os sintomas aparecem rapidamente como observado neste trabalho. No entanto, o após o surgimento de novas folhas há a redução da intoxicação.

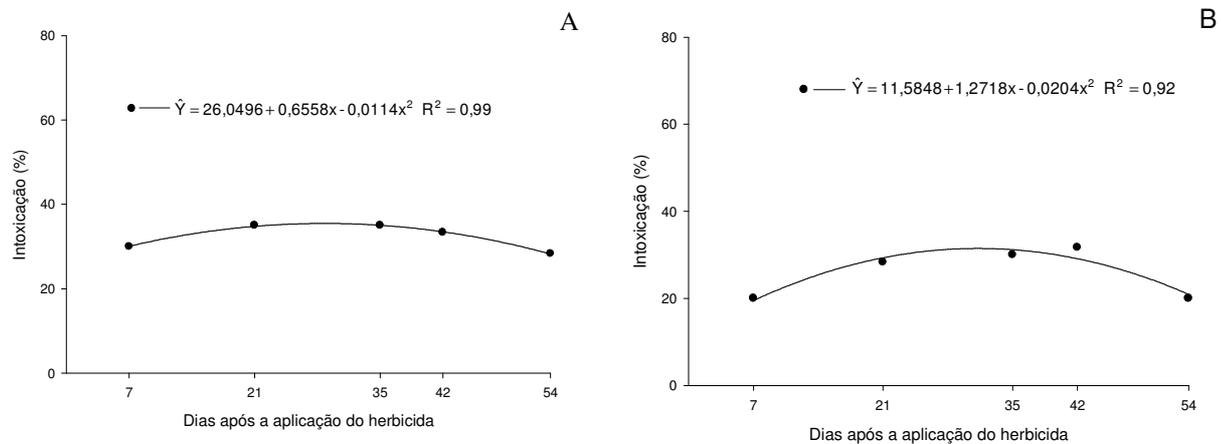


Figura 1. Intoxicação de cana-de-açúcar em função do período após a aplicação dos herbicidas: Volcane® (MSMA (A) 3 L ha⁻¹), e Gamit® (clomazone (B) 3 L ha⁻¹).

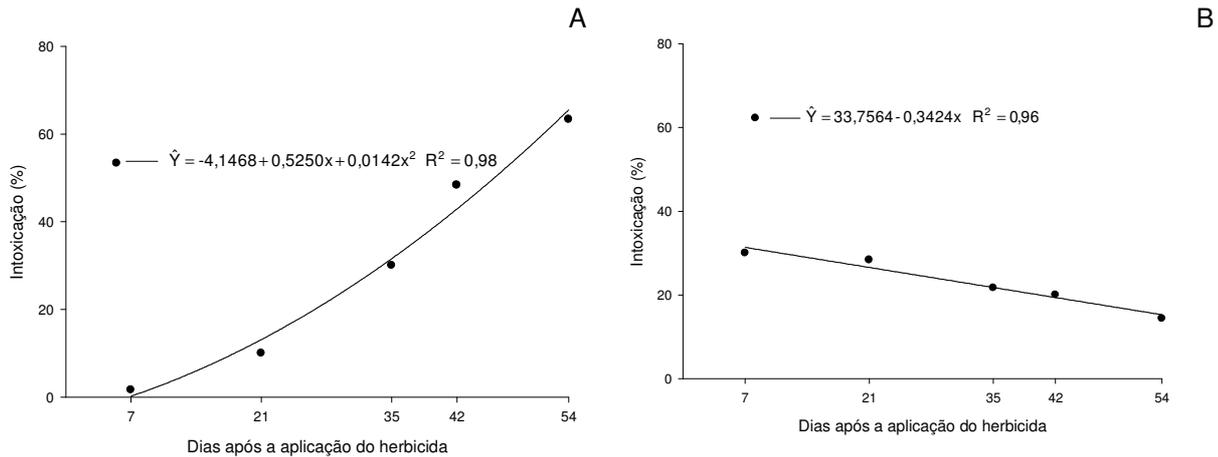


Figura 2. Intoxicação de cana-de-açúcar em função do período após a aplicação dos herbicidas: Envolke® (Trifloxysulfuron-sodium (A) 30 g/ha) e Solara® (Sulfentrazone (B) 1,2 L/ha).

O comportamento do sintoma de intoxicação, no período após a aplicação, do clomazone foi semelhante ao provocado pelo MSMA, com aumento dessa variável até aproximadamente 42 DAT e reduzindo após essa data (Figura 1). O clomazone é um herbicida aplicado em pós-emergência da cultura e que permanece por mais tempo ativo no solo e pode ser absorvido pelo sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, ocasionar efeitos de intoxicação com o passar do tempo

Houve aumento da intoxicação causada pelo trifloxysulfuron-sodium (Figura 2) com o aumento do período de avaliação, chegando a mais de 60% de intoxicação aos 54 DAT. O baixo sintoma ocasionado por esse herbicida aos 7 DAT é explicado pelo fato desses herbicidas atuarem na inibição da síntese de aminoácidos (SILVA; SILVA, 2007), desse modo, os processos fisiológicos são comprometidos quando houver falta desses compostos na planta, isso explica a demora no aparecimento dos sintomas visuais de intoxicação nas plantas. Esse herbicida permanece por longo período no solo (VIVIAN et al., 2006), e as plantas podem absorver pelo sistema radicular, o que pode contribuir para a persistência da intoxicação desse herbicida nas plantas sendo que resultados semelhantes foram encontrados por Galon et al., 2010.

A intoxicação causada pelo herbicida sulfentrazone apresentou relação inversa com o período após a aplicação desse herbicida (Figura 2), com os maiores efeitos aos 7 DAT e decrescendo de forma linear com o passar do tempo, chegando a

aproximadamente 15% de intoxicação aos 54 DAT. Vale ressaltar que em aplicação em pós-emergência o herbicida apresenta efeito de contato, não havendo a translocação do produto para as folhas mais jovens

A aplicação do tembotrione promoveu intoxicação linear com o passar do tempo as plantas de cana-de-açúcar (Figura 3). Os herbicidas diuron + hexazinone e tebuthiuron não apresentaram diferença na intoxicação das plantas com o passar do tempo, permanecendo com a intoxicação de 6,87 e 6,86 para os dois herbicidas, respectivamente.

O incremento no diâmetro de colmos não foi influenciado pela aplicação dos herbicidas estudados (Tabela 4). Entretanto, a altura das plantas de cana-de-açúcar foi menor quando tratadas com o herbicida trifloxysulfuron-sodium, diferindo-se das plantas que não receberam tratamento com herbicidas e das que foram tratadas com o MSMA. Isso indica que o trifloxysulfuron-sodium pode comprometer o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, sendo que resultados semelhantes foram encontrados em outros trabalhos (FERREIRA et al., 2005; GALON et al., 2010).

O acúmulo da massa seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar não foi influenciada pelos herbicidas, exceto pelo trifloxysulfuron-sodium, que apresentou menor valor dessa variável quando comparado com as plantas que não receberam tratamento com herbicidas (Tabela 4). Esses resultados são semelhantes aos encontrados para a altura das plantas, indicando mais uma vez que o trifloxysulfuron-sodium foi o herbicida que mais prejudicou o crescimento das plantas.

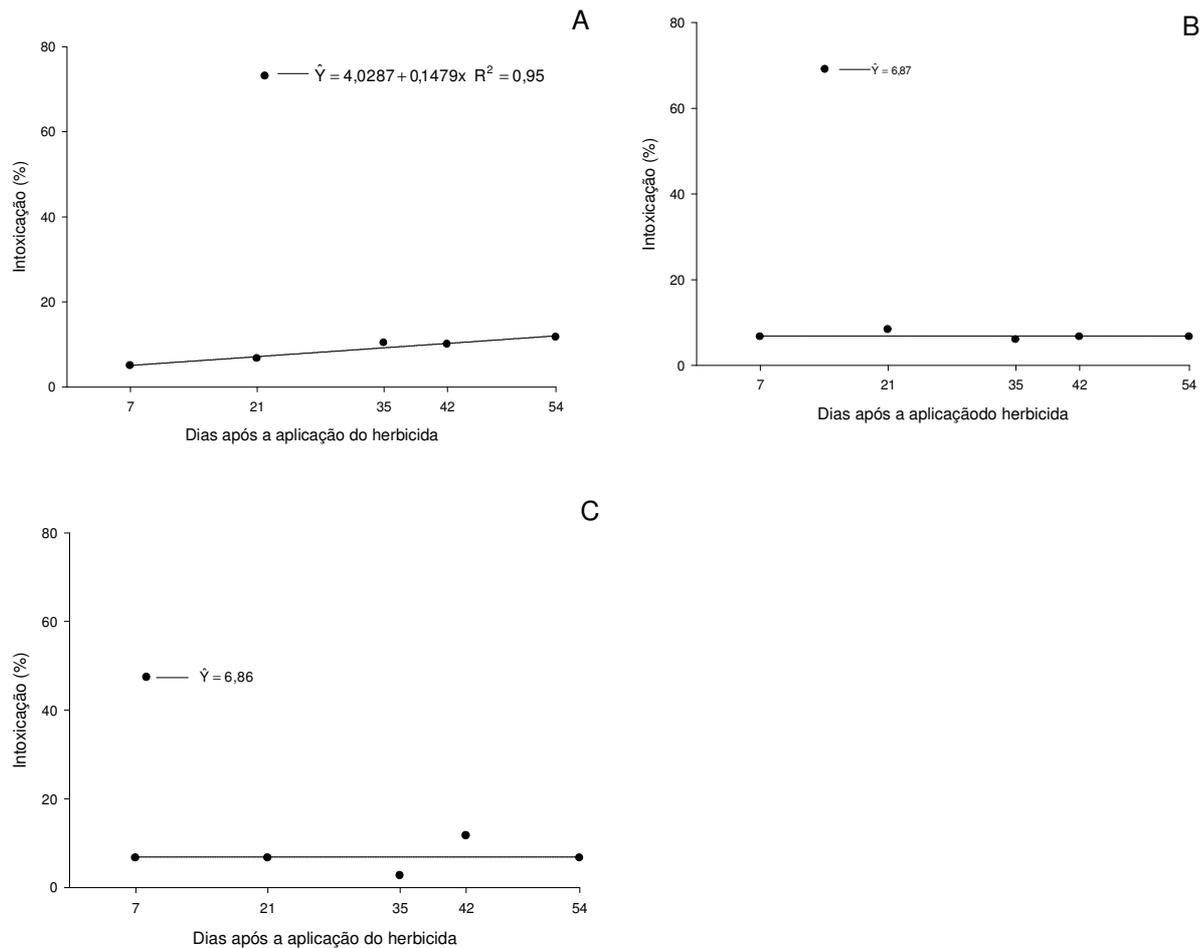


Figura 3. Intoxicação de cana-de-açúcar em função do período após a aplicação dos herbicidas: Soberan[®](tembotrione (A) 200 ml ha⁻¹), Velpar K[®](diuron + hexazinone (B) 2 kg ha⁻¹), Combine[®](tebuthiuron (C) 2L ha⁻¹).

Tabela 4. Incremento do diâmetro e do colmo (mm), incremento na altura das plantas (cm) e massa da matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar, 70 dias após a aplicação dos herbicidas, Viçosa – MG, 2010

Herbicidas ¹	Diâmetro	Altura	MSPA
Tembotrione ¹	4,00 a	16,30 ab	121,77 ab
MSMA ²	5,33 a	20,00 a	158,42 ab
Diuron + Hexazinone ³	3,33 a	14,00 ab	135,22 ab
Sulfentrazone ⁴	4,67 a	16,30 ab	156,54 ab
Trifloxysulfuron-Sodium ⁵	1,67 a	11,00 b	111,81 b
Tebulthiuron ⁶	3,33 a	15,00 ab	148,56 ab
Clomazone ⁷	4,67 a	17,00 ab	166,98 ab
Testemunha	5,33 a	19,00 a	176,80 a
CV (%)	53,45	20,93	

^{1/} Marca comercial: Soberan[®] 200 mL ha⁻¹; ^{2/} Marca comercial: Volcan[®] 3 L ha⁻¹; ^{3/} Marca comercial: Velpar K GW[®]– 2kg ha⁻¹; ^{4/} Marca comercial: Solar[®] 1,2 L ha⁻¹; ^{5/} Marca comercial Envoke[®] 30 g ha⁻¹+ Surfata[®] Auro[®] 1L ha⁻¹; ^{6/} Marca comercial: Combine 500 SC[®] 2,0 kg ha⁻¹; ^{7/} Marca comercial: Gamit[®] 3 L ha⁻¹; ^{8/}Médias seguidas pela primeira letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

Os herbicidas sulfentrazone e tebuthiuron reduzem a C-CO₂ do solo, e o MSMA, tebuthiuron, clomazone influenciam negativamente no CBM.

O clomazone foi o herbicida que causou o maior impacto na atividade da microbiota.

Não houve influência dos herbicidas na atividade da fosfomonoesterase ácida do solo rizosférica da cana-de-açúcar.

O trifloxysulfuron-sodium foi o único princípio ativo que reduziu o incremento em altura e a matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e as bolsas concedidas.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the effects of herbicides used in their recommended doses, on the activity of the microbiota and sugar cane growth. For this, seven herbicides (tembotrione, MSMA, hexazinone + diuron, sulfentrazone, trifloxysulfuron-sodium, and tebuthiuron cloamzone) were applied in pots containing 12 dm³ substrate (soil + fertilizer) at 50 days after sugarcane planting. The effects of these products on the evolution of soil CO₂ (CO₂-C), in the microbial biomass carbon (MBC), metabolic quotient (qCO₂), enzyme activity in the rhizosphere acid phosphomonoesterase in rhizosphere soil samples collected at 44 days after herbicide application (DAT) and the growth effects at 77 DAT. Initially herbicides MSMA, clomazone, sulfentrazone and trifloxysulfuron-sodium caused poisoning in culture. However, only plants treated with trifloxysulfuron-sodium, these symptoms remained visible at harvest of the experiment. The effects of herbicides on microbial activity rizoferica of sugar cane, sulfentrazone and tebuthiuron reduced CO₂-C and MSMA herbicide clomazone and reduced the CBM soil. The herbicide clomazone was that caused the greatest impact on microbial activity because of the increased value qCO₂. Moreover, the sulfentrazone reduced values of that variable, contributing to the balance of microflora in the soil. No influence of herbicides on the activity of acid phosphomonoesterase rhizospheric on the sugarcane soil.

KEYWORDS: Microbial biomass. Soil respiration. Metabolic quotient. Chemical control. *Saccharum officinarum* L.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biol. Fertil. Soils**, Berlin, v. 1, n. 2, p. 81-89, feb.1985.

CHAER, M. C.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, nov. 2007.

COLOMBO, S. Um desafio para o Brasil. **Jornal da USP**, São Paulo, v. 22, n. 784, p. 4-5, 2006.

DAS, A. C.; DEBNATH, A.; MUKHERJEE, D. Effect of the herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. **Chemosphere**, New York, v. 53, n. 3, p. 217-221, mar, 2003.

FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; VENTRELLA, M. C.; BARBOSA, M. H. P.; PROCÓPIO, S. O.; REBELLO, V. P. A. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 93-99, mar, 2005.

GALON, L.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. F.; REIS, M. R.; ASPIAZÚ, I.; FIALHO, C. M. T.; BARBOSA, M. H. P.; TIRONI, S. P. Tolerância de novos genótipos de cana-de-açúcar a herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 329-338, jun, 2010.

IEA - INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA. **Defensivos Agrícolas: comercialização recorde em 2011 e expectativas de acréscimo nas vendas em 2012**. São Paulo: IEA, 2012. Disponível em <<http://www.iew.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12409>>. Acesso em: 07 jul. 2013.

REIS, M. R.; SILVA, A. A.; COSTA, M. D.; GUIMARÃES, A. A.; FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B.; CECON, P. R. Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 323-331, jun, 2008.

REIS, M. R.; TIRONI, S. P.; COSTA, M. D.; SILVA, M. C. S.; FERREIRA, E. A.; BELO, A. F.; BARBOSA, M. H. P.; SILVA, A. A.. Colonização micorrízica e atividade de fosfatases ácidas na rizosfera de cultivares de cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. Esp., p. 977-985, dez, 2009.

SAKAMOTO, K.; OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass. **Biol. Fert. Soils**, Berlin, v. 17, n. 1, p. 39-44, 1994.

SANTOS, J. B.; JACQUES, R. J. S.; PROCÓPIO, S. O.; KASUYA, M. C. M.; SILVA, A. A.; SANTOS, E. A. Efeitos de diferentes formulações comerciais de glyphosate sobre estirpes de *Bradyrhizobium*. **Planta daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, jun, 2004 .

SANTOS, J. B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; COSTA, M. D.; SILVA, A. F. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 683-691, dez, 2005.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG. Ed. UFV, 2007. 367p.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 1, n. 4, p. 301-307, jan, 1969.

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C. V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 6, p. 853-858, jun, 1984.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos**. In: VENEGAS, V. H. A., SCHAEFER, C. E. G. R., BARROS, N. F., MELLO, J. W. V., COSTA, L. M. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195- 276.

TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; MEIRA, R. M. S. A.; BARROS, N. F.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L.. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 133-142, jan, 2005.

VIVIAN, R.; REIS, M. R.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. F.; GUIMARÃES, A. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. Persistência de sulfentrazone em Latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 741-750, dez, 2006.