

Controle de plantas daninhas, biomassa e metabolismo microbiano do solo em função da aplicação de glifosato ou imazetapir na cultura da soja

Weed control, biomass and microbial metabolism of soil depending on the application of glyphosate and imazethapyr on crop soybeans

Giani Mariza Barwald Bohm^{1*}; Léa Scheneider²; Danilo Castilhos³; Dirceu Agostinetto⁴; Cesar Valmor Rombaldi⁵

Resumo

Estudou-se o controle de plantas daninhas, as variações da biomassa e do metabolismo microbiano do solo em áreas cultivadas com soja geneticamente modificada e não modificada, em função da aplicação dos herbicidas glifosato ou imazetapir. Testaram-se cultivares de soja (BRS 244RR, geneticamente modificada e BRS 154, não modificada) e herbicidas (glifosato e imazetapir), e tratamento controle com capina. Como variáveis foram avaliadas a fitotoxicidade à cultura, controle de *Raphanus raphanistrum* (nabo), *Digitaria* sp. (milhã) e *Brachiaria plantaginea* (papuã), teores de carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB) e quociente metabólico (QCO₂). O herbicida glifosato, aplicado em dose única ou seqüencial, controla eficientemente as plantas daninhas nabo, milhã e papuã, e aumenta a atividade microbiana, a taxa de respiração basal e o quociente metabólico. O metabolismo microbiano do solo não foi afetado pelo genótipo, geneticamente modificado ou não, mas sim pelo uso do herbicida glifosato.

Palavras-chave: *Glycine Max*, planta daninha, herbicidas, soja transgênica

Abstract

Studied the weed control and the changes of biomass and microbial soil properties at crop cultivated both genetically modified and non altered soybeans because of glyphosate or imazethapyr herbicide applications. Soybean cultivations were tested (BRS 244RR), genetically modified and BRS 154, non modified) and herbicides (glyphosate and imazethapyr), and control treatment with weed. Variables were evaluated for phytotoxicity to the crop, control of *Raphanus raphanistrum* (wild radish), *Digitaria* sp. (crabgrass) and *Brachiaria plantaginea* (alexandregrass), total organic carbon (TOC), microbial biomass carbon (MBC), basal respiration (BR) and metabolic quocient (QCO₂). The herbicide glyphosate, applied as a single dose or sequentially, effectively controls the weeds wild radish, crabgrass and alexandregrass and increases microbial activity, basal respiration and metabolic quocient. The microbial metabolism was not affected by the fact that the genotype or not genetically modified, but the use of the herbicide glyphosate.

Key words: *Glycine max*, weeds, herbicides, transgenic soybean

¹ Prof^a de Gestão e Saneamento Ambiental, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense. Praça 20 de setembro, 455. Centro, Pelotas/RS, CEP 96015360. E-mail: gbbohm@ifsul.edu.br

² Graduada em Gestão Ambiental, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense. E-mail: lscheneider@bol.com.br

³ Prof. do Departamento de Solos, Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, UFPel. E-mail: danilodc@ufpel.edu.br

⁴ Prof. do Departamento de Plantas Daninhas, Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, UFPel. E-mail :agostinetto@ig.com.br

⁵ Prof. do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Agronomia, Universidade Federal de Pelotas. UFPel. E-mail: cesarvrf@ufpel.edu.br

* Autor para correspondência

Introdução

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] geneticamente modificada, resistente ao herbicida glifosato (GM_{RR}), é o produto biotecnológico de maior importância econômica no Brasil, totalizando 16,2 milhões de hectares cultivados em 2009, representando cerca de 71% da área cultivada (ISAAA, 2009). O início do cultivo em escala comercial da soja GM_{RR} no Brasil ocorreu em 1998, a partir da autorização do Comitê Técnico Nacional de Biossegurança (CTNBio).

Na soja GM_{RR}, a resistência ao herbicida glifosato foi obtida pela introdução do clone correspondente à isoforma da enzima EPSP_s (5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase; E.C. 2.5.1.19, CP4 EPSP_s), com peptídeo sinal de trânsito para o cloroplasto, da via do chiquimato, resistente ao glifosato [(N-(fosfometil) glicina], mantendo ativa a via biossintética de aminoácidos aromáticos nas plantas (BUSSE et al., 2001). No entanto, as consequências ambientais do uso desse herbicida ainda não foram claramente elucidadas, pois outros organismos vivos que não possuem essa rota metabólica podem ser afetados (BOHM et al., 2008). Esses efeitos tóxicos do glifosato podem ocorrer devido à ação sobre a enzima EPSP_s, sensível ao glifosato, existente tanto em plantas como microrganismos (BUSSE et al., 2001). O fato tecnológico marcante é que o glifosato é um herbicida que permite o controle eficiente de plantas daninhas (GREY; RAYMER, 2002), contribuindo para a manutenção de elevada produtividade da cultura da soja.

O uso intensivo de herbicidas pode causar efeitos adversos na microbiota do solo. Porém, os microrganismos, em geral, possuem grande adaptabilidade em resposta ao impacto causado por xenobióticos, o que é evidenciado pelo reestabelecimento da atividade metabólica (ARAÚJO et al., 2003). Os microrganismos do solo podem degradar agrotóxicos e usá-los como

fonte de carbono e energia ou para promover o crescimento microbiano (DURKIN, 2003).

A degradação microbiana do glifosato origina ácido aminometilfosfônico (AMPA), produto intermediário que pode resultar em água, dióxido de carbono, amônia e fosfato (DICK; QUINN, 1995). Embora o glifosato seja uma molécula simples, facilmente degradável, sua meia-vida pode variar de dias a meses, provavelmente associado com a absorção do glifosato pelo complexo organo mineral. A taxa com que o glifosato é mineralizado está relacionada com a biomassa e atividade dos microrganismos do solo (GOMEZ et al., 2009).

Estudo sobre biodegradação de glifosato (fase adsorvida e fase não-adsorvida) mostrou que houve rápida degradação no primeiro dia, sendo diminuída no tempo (EBERBACH, 1998). Além disso, foi observado que a adsorção restringe a disponibilidade do glifosato para biodegradação ao longo do tempo. Assim, a meia-vida da molécula depende das fases, sendo a da parte não-adsorvida de 6 a 9 dias e da parte adsorvida de 222 a 835 dias.

A avaliação da ocorrência de degradação acelerada do herbicida glifosato demonstrou que este foi rapidamente mineralizado após a segunda aplicação no solo (ROBERTSON; ALEXANDER, 1994). Segundo esses autores, o glifosato, quando aplicado repetidamente no solo, por vários anos, pode ter sua taxa de degradação aumentada em relação aos solos sem a aplicação do produto, pois os microrganismos presentes podem estar mais adaptados à presença do composto e/ou haver pressão de seleção para microrganismos com enzimas específicas para metabolizá-lo.

O uso de glifosato em áreas de Planossolo, visando o controle de plantas daninhas em soja transgênica, resultou em resíduos dessa molécula em grãos e solo, assim como do metabólico AMPA (BOHM et al., 2008). Complementarmente,

Bohm et al. (2009) e Bohm e Rombaldi. (2010), verificaram que o glifosato afeta negativamente a fixação biológica de nitrogênio. As maiores variações na biologia do solo em áreas cultivadas com soja resistente ao glifosato, não se devem ao fato da inserção do gene EPSPs e gene marcador, mas ao herbicida que é aplicado durante o ciclo vegetativo (BOHM; ROMBALDI, 2010). Nesse contexto o trabalho visou analisar o controle de plantas daninhas e as variações de biomassa e metabolismo microbiano em solo cultivado com soja geneticamente modificada e não modificada, em função do uso dos herbicidas glifosato e imazetapir, ou com capinas.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na safra 2007/08, em condições de campo, no Centro Agropecuário da Palma (CAP), da Universidade Federal de Pelotas, localizado no município do Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2006), com pH em água 5,6, índice SMP 6,5, CTC efetiva 4,6, matéria orgânica 1,4% e 16% de argila. Previamente ao cultivo, aplicaram-se 250 kg ha⁻¹ de adubo (0-20-20).

As unidades experimentais constaram de áreas com 10 m² (2 x 5 m), aleatoriamente distribuídas em delineamento de blocos casualizado, com três repetições. Na área experimental ocorreu elevada infestação de nabo (*Raphanus raphanistrum*), milhã (*Digitaria* spp.) e papuã (*Brachiaria plantaginea*). A semeadura da soja foi realizada na primeira quinzena de janeiro.

Os tratamentos testados foram: soja BRS 244 RR e BRS 154, ambas sem aplicação de herbicida e com capina manual aos 28 dias após a semeadura (DAS); soja BRS 244 RR com aplicação de glifosato a 960 g ia ha⁻¹, aos 28 DAS; soja BRS 244 RR com duas aplicações de glifosato a 960 g ia ha⁻¹, aos 28 e 56 DAS;

soja BRS 244 RR; e, BRS 154, com aplicação de imazetapir (100 g ia ha⁻¹), aos 28 DAS.

Aos 08, 15, 21 e 30 dias após aplicação dos tratamentos (DAT) foram avaliadas como variáveis dependentes a fitotoxicidade dos herbicidas à cultura, o controle de nabo, papuã e milhã. As avaliações de fitotoxicidade e controle de plantas daninhas foram realizadas atribuindo-se valores percentuais entre 0 (ausência de fitotoxicidade à cultura ou sem controle das plantas daninhas) e 100% (morte das plantas da cultura ou controle total das plantas daninhas).

Aos 90 DAS, correspondendo ao estágio R5 do desenvolvimento da soja, foram retiradas com auxílio do trado de rosca, quatro sub-amostras de solo, a 20 cm da planta, na profundidade de 0 a 20 cm, de cada unidade experimental para análise química (carbono orgânico total-COT) e de atividade microbiana do solo (carbono da biomassa microbiana-CBM e respiração basal-RB). Calculou-se a relação entre CBM/COT e RB/CBM. Os teores de COT foram determinados pelo método de Walkley-Black conforme descrito por Tedesco, Volkweiss e Bonhen (1995). O CBM foi determinado baseando-se no método descrito por Vance, Brookes e Jenkinson (1987). Entretanto, para eliminação dos microrganismos, substituiu-se o clorofórmio por tratamento com microondas a 2.450 MHz, durante quatro minutos, procedimento validado por Ferreira, Camargo e Vidor (1999). O CBM foi calculado pela fórmula: $CBM = (C_i - C_{ni}) / K_c$, sendo, CBM= carbono da biomassa microbiana do solo; C_i = Leitura da amostra irradiada; C_{ni} = Leitura da amostra não irradiada; K_c = 0,33 (fator de correção adotado por Bohm et al. (2007)). Os resultados foram expressos em µg g⁻¹ solo. A relação CBM/COT foi obtida pela razão entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo.

A RB, que consiste em mensurar a atividade microbiana pela decomposição do carbono

orgânico e da quantificação do CO₂ liberado, foi determinada conforme método proposto por Anderson e Domsch (1978) e adaptado por Santos et al. (2004). Cada repetição de 100 g de solo foi acondicionada em frascos de vidro com capacidade de 0,8 L, hermeticamente fechados. Para cada tratamento, em 4 repetições foram adicionados 2g de sacarose, e em outras 4 permaneceram sem adição desse açúcar. Em cada frasco, colocou-se um becker de 50 mL contendo 20 mL de NaOH 1 M, à temperatura de 21 °C. A RB do solo foi determinada pela quantificação do dióxido de carbono (CO₂) liberado no processo de respiração microbiana durante 26 dias de incubação. O CO₂ foi quantificado por titulação, com solução de HCl 1 M, após a adição de solução de BaCl₂ (25% m/v) e 3 gotas de fenolftaleína (1%) como indicador. A quantidade de CO₂ liberada em cada tratamento e período de avaliação foi calculada pela fórmula: $RB = (VPB - VA) \times M \text{ ácido} \times Eq. C-CO_2$, sendo: VPB= volume de HCl gasto na prova em branco; VA= Volume de HCl gasto na amostra; M ácido= concentração do HCl; Eq. C-CO₂= equivalente grama do C-CO₂. Os resultados foram expressos em mg C-CO₂ 100g⁻¹.

A taxa de respiração por unidade de biomassa ou quociente metabólico (qCO₂), foi obtida pela relação entre a taxa de respiração basal, que consiste na medida da produção de CO₂, resultante da atividade metabólica do solo, e biomassa microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1990).

A produtividade de grãos foi quantificada pela colheita em área útil de 1,35 m², sendo os valores expressos em kg ha⁻¹ a 13% de umidade.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e em se constatando significância estatística, os efeitos dos tratamentos qualitativos foram comparados pelo teste de Duncan ou LSD (p≤0,05). Os dados obtidos em % foram transformados pela fórmula arco seno $\sqrt{x+1}$, previamente à análise estatística.

Resultados e Discussão

A fitotoxicidade dos herbicidas à cultura foi reduzida em todas as épocas de avaliação (Tabela 1). Aos 8 DAT a maior fitotoxicidade foi observada nos tratamentos que receberam aplicação do herbicida imazetapir, para ambos os genótipos testados. Na segunda época de avaliação (15 DAT), todos os tratamentos com herbicidas proporcionaram efeito fitotóxico similar, enquanto nas últimas duas épocas de avaliação a maior fitotoxicidade foi verificada no tratamento com glifosato, o que pode decorrer da realização da segunda aplicação do herbicida. De modo similar, Correia e Durigan (2007) não observaram sintomas de intoxicação de plantas de soja em função da aplicação de 1,2 kg ha⁻¹ de equivalente ácido de diferentes herbicidas à base de glifosato. Também, Procópio et al. (2007), observaram que a aplicação isolada de glifosato nas doses de 480, 960 e 1.440 g ha⁻¹ não causaram toxicidade e não reduziram a estatura nem o acúmulo de massa seca das plantas de soja RR[®]. De acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento o glifosato é registrado para uso em doses de 576 a 1200 g ia. ha⁻¹ (AGROFIT, 2009).

Tabela 1. Fitotoxicidade dos herbicidas glifosato e imazetapir à cultura da soja transgênica (BRS 244RR) e não transgênica (BRS 154). CAP/UFPel, Capão do Leão/RS, 2007/08.

Tratamentos	08 DAT ¹	15 DAT	21 DAT	30 DAT
244RR + capina manual	0,0 c ²	0,0 b	0,0 c	0,0 b
154 + capina manual	0,0 c	0,0 b	0,0 c	0,0 b
244RR + glifosato 1x	1,3 b	1,0 a	0,7 abc	0,0 b
244RR + glifosato 2x	1,7 ab	1,0 a	1,3 a	1,5 a
244RR + imazetapir 1x	2,0 a	1,0 a	1,0 ab	0,0 b
154 + imazetapir 1x	2,3 a	0,7 a	0,3 bc	0,0 b
CV (%)	38,59	41,85	80,54	18,74

¹ Dias após a aplicação dos tratamentos. ² Médias com letras idênticas na coluna não diferiram entre si pelo Teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

No que concerne ao controle do nabo, ambos os herbicidas proporcionaram elevada eficiência. No entanto, o glifosato apresentou resposta mais rápida e maiores percentuais de controle, obtendo-se controle de aproximadamente 96% aos oito dias após a aplicação. Com o uso de imazetapir,

o percentual de controle foi menor, entre 78,3% e 86,5% (Tabela 2). Estes resultados decorrem da suscetibilidade da espécie aos herbicidas glifosato ou imazetapir, aplicados na dose recomendada ou em aplicação seqüencial (AGROFIT, 2009).

Tabela 2. Controle de nabo (*Raphanus raphanistrum*) pelos herbicidas glifosato e imazetapir na cultura da soja transgênica (BRS 244RR) e não transgênica (BRS 154). CAP/UFPel, Capão do Leão/RS, 2007/08.

Tratamentos	08 DAT ¹	15 DAT	21 DAT	30 DAT
244RR + capina manual	100,0 a ²	100,0 a	100,0 ^{ns}	100,0 a
154 + capina manual	100,0 a	100,0 a	100,0	100,0 a
244RR + glifosato 1x	95,7 ab	99,0 abc	100,0	96,3 c
244RR + glifosato 2x	96,7 ab	99,7 ab	100,0	99,7 a
244RR + imazetapir 1x	86,5 ab	98,0 c	100,0	98,5 ab
154 + imazetapir 1x	78,3 b	98,3 bc	99,7	97,3 bc
CV (%)	9,94	0,7	0,42	1,08

¹ Dias após a aplicação dos tratamentos. ² Médias com letras idênticas na coluna não diferiram entre si pelo Teste de Duncan ($p \leq 0,05$). ns Não significativo ($p \leq 0,05$).

Para o milhã verificou-se que a aplicação em dosagem única ou duas dosagens de glifosato apresentou controle eficiente em todas as épocas de avaliação (Tabela 3). Porém, o herbicida imazetapir, independente do genótipo de soja, apresentou baixo controle dessa planta daninha, o que pode ser devido às características morfológicas da espécie, como

pilosidade, ou as condições edafoclimáticas, pois segundo López-Ovejero et al. (2006), o herbicida imazetapir controla eficientemente biótipos de *Digitaria ciliaris* resistentes e suscetíveis a inibidores de ACCase (acetil-Coa carboxilase, enzima chave na biosíntese de lipídios em plastídios).

Tabela 3. Controle de milhã (*Digitaria* spp.) pelos herbicidas glifosato e imazetapir na cultura da soja transgênica (BRS 244RR) e não transgênica (BRS 154). CAP/UFPel, Capão do Leão/RS, 2007/08.

Tratamentos	08 DAT ¹	15 DAT	21 DAT	30 DAT
244RR + capina manual	100,0 a ²	100,0 a	100,0 a	100,0 a
154 + capina manual	100,0 a	100,0 a	100,0 a	100,0 a
244RR + glifosato 1x	94,7 b	99,7 a	100,0 a	100,0 a
244RR + glifosato 2x	99,0 a	99,7 a	100,0 a	100,0 a
244RR + imazetapir 1x	47,5 c	51,5 c	70,5 b	66,5 b
154 + imazetapir 1x	50,7 c	59,0 b	72,5 b	65,0 b
CV (%)	2,68	1,95	6,58	4,67

¹ Dias após a aplicação dos tratamentos. ² Médias com letras idênticas na coluna não diferiram entre si pelo Teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Em relação ao papuã, nas duas primeiras épocas de avaliação, a maior eficiência de controle foi verificada com a aplicação de glifosato, independente do número de doses de aplicação, não diferindo do tratamento controle (Tabela 4). A partir de 15 DAT, todos os tratamentos proporcionaram controle superior a 92%, índice considerado

como eficiente no controle de plantas daninhas (RECOMENDAÇÕES, 2007). Considerando todas as avaliações e a média dos dois tratamentos com glifosato, verificou-se aumento de 9,6%, comparativamente as médias dos tratamentos com imazetapir, sendo coerente com os trabalhos de Grey e Raymer (2002).

Tabela 4. Controle de papuã (*Brachiaria plantaginea*) pelos herbicidas glifosato e imazetapir na cultura da soja transgênica (BRS 244RR) e não transgênica (BRS 154). CAP/UFPel, Capão do Leão/RS, 2007/08.

Tratamentos	08 DAT ¹	15 DAT	21 DAT	30 DAT
244RR + capina manual	100,0 a ²	100,0 a	100,0 ^{ns}	100,0 ^{ns}
154 + capina manual	100,0 a	100,0 a	100,0	100,0
244RR + glifosato 1x	99,7 a	100,0 a	100,0	100,0
244RR + glifosato 2x	98,7 a	100,0 a	100,0	100,0
244RR + imazetapir 1x	67,5 c	98,0 ab	98,0	92,5
154 + imazetapir 1x	82,0 b	94,0 b	99,0	97,3
CV (%)	6,13	1,90	0,95	3,50

¹ Dias após a aplicação dos tratamentos. ² Médias com letras idênticas na coluna não diferiram entre si pelo Teste de Duncan ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo ($p \leq 0,05$).

Os herbicidas à base de glifosato permitem o controle de plantas daninhas em percentuais superiores a 92% segundo Grey e Raymer (2002), entretanto, há de se considerar que o uso continuado pode contribuir para a seleção de genótipos

resistentes a essa molécula (CERDEIRA; DUKE, 2007).

Os maiores valores de COT foram obtidos nas parcelas tratadas com glifosato, em média 22% superiores aos valores observados nos demais

tratamentos, os quais não apresentaram diferenças entre si (Tabela 5). Já, o CBM não foi afetado pelos tratamentos (Tabela 5). Diferentemente desses resultados, Haney, Senseman e Hons (2002) detectaram maior CBM em solos nos quais houve aplicação de herbicida glifosato. Para esses autores, aplicações de glifosato em doses de 234 mg ia kg⁻¹

de solo, estimula a atividade microbiana. Entretanto, outros autores, como Bohm et al. (2008) e Gomez et al. (2009) detectaram menores teores de CBM em solos com aplicação de glifosato. As causas exatas dessas diferenças não foram estudadas, mas podem estar associadas às diferenças no solo e na atividade microbiana dos ambientes estudados.

Tabela 5. Carbono orgânico total do solo (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM) e a relação carbono microbiano e carbono orgânico total (CBM/COT), taxa de respiração Basal (TRB) e quociente metabólico (qCO₂). CAP/UFPEl, 2007/08.

Tratamentos	COT%	CBMµg g ⁻¹	CBM/COT%	TRBµg C-CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹	qCO ₂ (10 ⁻⁴)
244RR + capina manual	0,81b ¹	504,75 ^{ns}	6,23 ^{ns}	0,33bc	6,63b
154 + capina manual	0,80b	513,69	6,41	0,32bc	6,65b
244RR + glifosato 1x	1,08a	567,29	5,63	0,41ab	7,33a
244RR + glifosato 2x	0,97a	551,69	5,64	0,45a	8,30a
244RR + imazetapir 1x	0,75b	540,49	7,21	0,36bc	6,69b
154 + imazetapir 1x	0,81b	571,76	7,09	0,30c	5,26bc
CV	6,23	14,65	17,5	15,16	18,77

¹Médias seguidas pelas mesmas letras, na mesma coluna, não se diferem estatisticamente pelo teste de LSD (p≤0,05).
ns Não significativo (p≤0,05).

A relação CBM/COT, que indica o percentual do carbono orgânico total representado pelo carbono microbiano, não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5).

A taxa de RB foi maior para os tratamentos com aplicação de glifosato, não havendo diferença entre dosagens (Tabela 5). Os tratamentos com imazetapir não afetaram essa variável. Esses resultados são similares aos encontrados por Bohm et al. (2007) para as taxas de RB em Planossolo na presença de glifosato. Outros autores detectaram aumento nas taxas de RB em solos na presença de maiores dosagens de glifosato (3,4 mg i.a. kg⁻¹) (GIMSING et al., 2004). Esse comportamento não é unânime, como verificado por Busse et al. (2001) e Liphadzi et al. (2005), os quais não observaram incremento nas taxas de RB. A causa exata desta variação também não foi determinada, mas acredita-se que as variações se devem às diferenças entre

procedimentos experimentais (ensaios a campo, laboratório ou casa de vegetação), tipo de solo (características físico-químicas e biológicas) e/ou a cultura em estudo e dosagens testadas.

Os maiores valores de quocientes metabólicos foram obtidos para os tratamentos com aplicação de glifosato, independentemente da dosagem testada. Esse resultado é consequência da maior atividade microbiana, com maior liberação de CO₂ por unidade de CBM, provocada pela presença de substrato facilmente assimilável para o desenvolvimento da atividade microbiana. O qCO₂ tem sido utilizado como indicador biológico do equilíbrio do solo, uma vez que à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é liberado como CO₂ pela respiração e maior proporção de carbono é incorporada à biomassa microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1990). É conhecido que fatores de estresse (herbicidas, metais pesados,

pH, limitações de nutrientes), assim como fatores de perturbação (condições ambientais) afetam esse metabolismo. Um efeito potencial da aplicação do herbicida glifosato no solo é o estímulo ou inibição de microrganismos do solo com funções importantes como nos processos de mineralização e imobilização de nutrientes (BUSSE et al., 2001).

A atividade microbiana, mensurada pela taxa de respiração basal (TRB), foi maior nos tratamentos com aplicação de glifosato, em ambas as doses testadas (Figura 1). Os tratamentos com glifosato apresentaram aumento na evolução de CO₂ em média 20% e 26,7% respectivamente, em relação à

capina e ao imazetapir. Esse comportamento, embora os valores absolutos sejam distintos, é semelhante ao descrito por Haney, Senseman e Hons (2002) e Bohm et al. (2007), que observaram maior liberação de CO₂ na presença do glifosato que ocorre devido a esse herbicida ser facilmente metabolizável pelos microrganismos do solo. Gimsing et al. (2004), reportaram que a mineralização do glifosato, para cinco diferentes tipos de solos testados, está diretamente relacionada com a população de bactérias heterotróficas e, principalmente com a frequência de bactérias do gênero *Pseudomonas spp.*

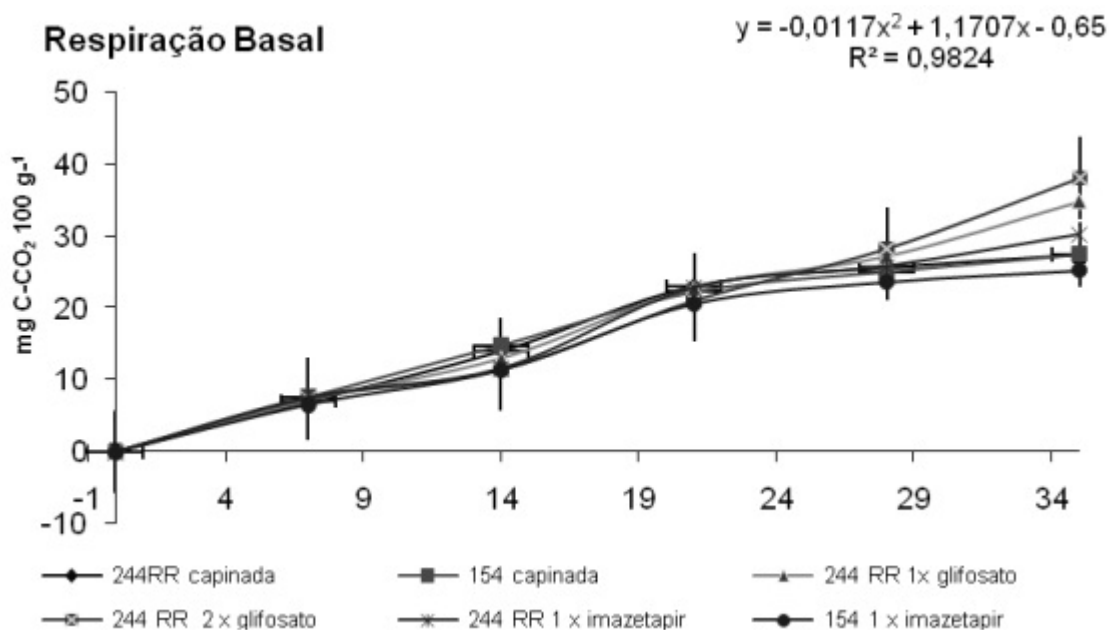


Figura 1. Liberação acumulada de CO₂ no solo, durante o período de 35 dias de incubação. CAP/UFPeI, 2007/08.

Os melhores desempenhos quanto a produtividade de grãos, foram observados para os tratamentos com a cultivar BRS 154, embora não diferiram dos tratamentos com glifosato aplicado

de modo sequencial ou testemunha para a cultivar BRS 244RR (Tabela 6). Estes resultados podem ser decorrentes de características genéticas de cada cultivar.

Tabela 6. Produtividade de grãos de soja em função da aplicação de herbicidas ou capina manual. CAP/UFPEL, Capão do Leão/RS, 2007/08.

Tratamentos	Produtividade
244RR + capina manual	2185 ab
154 + capina manual	2476 a
244RR + glifosato 1x	1797 b
244RR + glifosato 2x	1960 ab
244RR + imazetapir 1x	1707 b
154 + imazetapir 1x	2488 a
CV (%)	10,34

¹ Médias com letras idênticas na coluna não diferiram entre si pelo Teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Conclusão

O herbicida glifosato, aplicado em dose única ou em duas doses, controla eficientemente as plantas daninhas nabo, milha e papuã, enquanto o herbicida imazetapir é mais eficiente no controle de nabo e de papuã do que milhã.

A produtividade de grãos para cada biótipo é similar, independente do método de controle de plantas

A aplicação isolada ou sequencial de glifosato aumenta a atividade microbiana, a taxa de respiração basal e o quociente metabólico.

O metabolismo microbiano do solo não foi afetado pelo fato do genótipo ser ou não geneticamente modificado, e sim pelo uso do herbicida glifosato.

Agradecimentos

À Embrapa Trigo, de Passo Fundo-RS pelo fornecimento das sementes de soja e ao CNPq pelo financiamento (Edital MCT/CNPq 14/2008-Universal).

Referências

AGROFIT. 2009. Disponível em: <<http://www.extranet.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2009.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 10, p. 215-221, 1978.

_____. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qP) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; ABARKELI, R. B. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. *Chemosphere*, Oxford, v. 52, p. 799-804, 2003.

BOHM, G. B.; ROMBALDI, C. V. Efeito da transformação genética e da aplicação do glifosato na microbiota do solo, fixação biológica de nitrogênio, qualidade e segurança de grãos de soja geneticamente modificada. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 213-221, 2010.

BOHM, G. M. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; XAVIER, G. R.; HAX, F.; ROMBALDI, C. V. glyphosate - and imazethapyr-induced effects on yield, nodule mass and biological nitrogen fixation in field-grown glifosato-resistant soybean. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 41, n. 2, p. 420-422, 2009.

BOHM, G. M. B.; CASTILHOS, D.; PIGOSSO, G.; TRICHEZ, D.; ROMBALDI, C. V. Efeito do controle de plantas daninhas na biomassa e atividade microbiana em Planossolo cultivado com soja BRS 244RR. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 13, n. 4, p. 503-508, 2007.

BOHM, G. M. B.; GENOVESE, M. I.; PIGOSSO, G.; TRICHEZ, D.; ROMBALDI, C. V. Resíduos de glifosato e ácido aminometilfosfônico, e teores de isoflavonas em

- soja BRS 244 RR e BRS 154 cultivadas em Planossolo. *Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 28, p. 192-197, 2008. Suplemento 1.
- BUSSE, M. D.; RATCLIFF, G. A.; SHESTAK, C. J.; POWERS, R. F. Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control and soil on soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 33, n. 6, p. 1777-1789, 2001.
- CERDEIRA, A. L.; DUKE, S. O. Environmental impacts of transgenic herbicide-resistant crops. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, *Nutrition and Natural Resources*, v. 2, n. 33, p. 13, 2007.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Seletividade de diferentes herbicidas à base de glifosato a soja RR. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 375-379, 2007.
- DICK, R. E.; QUINN, J. P. Glyphosate-degrading isolates from environmental samples: occurrence and pathways of degradation. *Applied Microbiology Biotechnology*, Berlin, v. 43, n. 3, p. 545-550, 1995.
- DURKIN, P. Glyphosate - human health and ecological risk assessment. Washington: Final Report USDA, Forest Service, 2003, 62 p.
- EBERBACH, P. L. Applying non-steady-state compartmental analysis to investigate the simultaneous degradation of soluble and sorbed glifosato (N-phosphonomethyl) glycine in four soils. *Pesticide Science*, Chichester, v. 52, p. 229-240, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Brasília: Embrapa. Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização do microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 991-996, 1999.
- GIMSING, A. L.; BORGGAARD, O. K.; JACOBSEN, O. S.; AAMAND, J.; SORENSEN, J. Chemical and microbiological soil characteristics controlling glifosato mineralisation in Danish surface soils. *Applied Soil Ecology*, Denmark, v. 27, n. 3, p. 233-242, 2004.
- GOMEZ, E.; FERRERAS, L.; LAVOTTI, L.; FERNANDEZ, E. Impact of glyphosate application on microbial biomass and metabolic activity in a vertic argiudoll from Argentina. *European Journal of Soil Biology*, v. 45, n. 2, p. 163-167, 2009.
- GREY, T. L.; RAYMER, P. Sicklepod (*Senna obtusifolia*) and red Morning glory (*Ipomoea cocinea*) control in glyphosate -resistant soybean with narrow rows and postemergence herbicide mixtures. *Weed Technology*, Washington, v. 16, n. 3, p. 669-674, 2002.
- HANEY, R. L.; SENSEMAN, S. A.; HONS, F. M. Bioremediation and: effect of biodegradation roundup ultra on microbial activity and biomass from selected soils. *Journal Environmental Quality*, Texas, v. 31, p. 730-735, 2002.
- INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS – ISAAA. Global Status of Commercialized Biotech/ GM Crops: 2009. Disponível em: <www.cib.org.br/apresentacao/relatorio_ISAAA_2009.pdf>. Acesso em: 16 maio 2011.
- LIPHADZI, K. B.; AL-KHATIB, K.; BENSCH, C. N.; STAHLMAN, P. W.; DILLE, J. A.; TODD, T.; RICE, C. W.; HORAK, M. J.; HEAD, G. Soil microbial and nematode communities as affected by glyphosate and tillage practices in a glyphosate-resistant cropping system. *Weed Science*, Champaign, v. 53, n. 4, p. 536-545, 2005.
- LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CRISTOFFOLETI, P. J. Suscetibilidade comparativa a herbicidas pós-emergentes de biótipos de *Digitaria ciliaris* resistente e suscetível aos inibidores da ACCase. *Planta Daninha*, v. 24, n. 4, p. 789-796, 2006.
- PROCÓPIO, S. O.; MENEZES, C. C. E.; BETTA, L.; BETTA, M. Utilização de chlorimuron-ethyl e imazetapir na cultura da soja Roundup Ready®. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 365-373, 2007.
- RECOMENDAÇÕES. Indicações técnicas para a cultura da soja no rio grande do sul e santa catarina 2007/2008. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 35., 2007, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: Orium, 2007. 168 p.
- ROBERTSON, B. K.; ALEXANDER, M. Growth-linked and cometabolic biodegradation: possible reason for occurrence or absence of accelerated pesticide biodegradation. *Pesticide Science*, Chichester, v. 41, p. 311-318, 1994.
- SANTOS, V. B.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, D. G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 333-338, 2004.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BONHEN, H. *Análises de solos, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5).
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D.

S. An extraction method for measuring soil microbial biomass c. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

