

Fitorremediação de solos contaminados com picloram por *Urochloa brizantha*¹

Miguel Henrique Rosa Franco², André Cabral França²,
Marco Túlio Albuquerque², Nykolos Carvalho Schiavon², Guto Nascimento Vargas²

ABSTRACT

Phytoremediation of soils contaminated with picloram by *Urochloa brizantha*

Picloram is an herbicide that presents a high persistence in the soil and may severely harm crops in rotation and the environment. The phytoremediation of contaminated areas has been investigated in order to decrease the persistence and environmental impacts of this herbicide. This study aimed to evaluate the influence of the cultivation period of *Urochloa brizantha* cv. Piatã on the phytoremediation of soil contaminated with picloram. A randomized blocks design, with five replications, was used and treatments consisted of five cultivation periods (150, 210, 240, 270 and 300 days). It was concluded that *U. brizantha* acted effectively in the phytoremediation of contaminated soils, and the higher the cultivation period, higher was its phytoremediation potential. A recovery in the photosynthetic apparatus of the bioindicator plants (*Phaseolus vulgaris*) studied was observed after 240 days of *U. brizantha* cultivation.

KEY-WORDS: *Urochloa brizantha* (Stapf) Webster (syn. *Brachiaria brizantha* Stapf); *Phaseolus vulgaris* L.; herbicide; auxins.

INTRODUÇÃO

Apesar de muitas divergências sobre os efeitos do uso de agroquímicos no meio ambiente, o uso desses produtos tem crescido intensamente, nos últimos 50 anos (Cabral et al. 2003). O Brasil é, atualmente, o maior consumidor mundial de agrotóxicos, sendo que os herbicidas representam cerca de 45% do consumo total (Sindag 2009).

Diversas moléculas herbicidas surgiram, com características físico-químicas que propiciam funcionalidades diferenciadas e comportamentos ambientais distintos (Armas & Monteiro 2005), sendo as principais razões da utilização dessas moléculas o seu custo, a alta seletividade desses produtos às

RESUMO

O picloram é um herbicida que apresenta elevada persistência no solo, podendo causar danos severos a plantas cultivadas em sucessão e ao meio ambiente. A fitorremediação de áreas contaminadas vem sendo estudada como forma de redução da persistência e impacto ambiental desse herbicida. Este estudo objetivou avaliar a influência do tempo de cultivo de *Urochloa brizantha* cv. Piatã sobre a fitorremediação de solo contaminado com picloram. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco repetições, e os tratamentos foram compostos por cinco períodos de cultivo (150, 210, 240, 270 e 300 dias). Concluiu-se que a braquiária atuou de maneira efetiva na fitorremediação dos solos contaminados, sendo que, quanto maior o período de cultivo, maior foi o seu potencial fitorremediador. Observou-se recuperação no aparato fotossintético das plantas bioindicadoras (*Phaseolus vulgaris*) estudadas, a partir de 240 dias de cultivo da braquiária.

PALAVRA-CHAVE: *Urochloa brizantha* (Stapf) Webster (syn. *Brachiaria brizantha* Stapf); *Phaseolus vulgaris* L.; herbicida; auxinas.

culturas e sua eficiência no rendimento operacional (Procópio et al. 2004).

Dentre essas moléculas, podemos destacar o picloram (ácido 4-amino 3,5,6 triclora-2-piridinacarboxílico), utilizado no controle de plantas daninhas dicotiledôneas arbustivas e arbóreas, em pós-emergência, em pastagens (Rodrigues & Almeida 2011). Esse herbicida pertence ao grupo dos mimetizadores de auxinas, ou reguladores de crescimento, que atuam provocando distúrbios no metabolismo dos ácidos nucleicos, aumentando, assim, a atividade enzimática e a destruição do floema, bem como causando alongamento celular, turgescência e rompimento das células (Carmo et al. 2008a).

1. Trabalho recebido em fev./2014 e aceito para publicação em dez./2014 (nº registro: PAT 28377).

2. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Faculdade de Ciências Agrárias, Diamantina, MG, Brasil. E-mails: miguelmhrf@yahoo.com.br, cabralfranca@yahoo.com.br, marcotgomes@hotmail.com, nc_schiavon@yahoo.com.br, guto_lepras@hotmail.com.

Em relação aos demais herbicidas registrados no Brasil, o picloram se destaca por apresentar alto período de atividade residual no solo (Santos et al. 2006), característica responsável pelo impedimento do cultivo a curto prazo de várias espécies agrícolas não seletivas ao mesmo (Procópio et al. 2008), como, também, pelo alto risco de contaminação do lençol freático (Bovey & Richardson 1991).

Muitas pesquisas vêm sendo realizadas, nos últimos anos, com maior ênfase no emprego de espécies vegetais capazes de remover e/ou degradar xenobióticos no solo (Pires et al. 2003), com destaque para a técnica de fitorremediação empregada com a utilização de plantas específicas, visando a amenizá-los, ou até mesmo despoluir locais contaminados (Coutinho & Barbosa 2007). A utilização de algumas plantas capazes de remover poluentes orgânicos e inorgânicos, retirando-os do ambiente e convertendo-os em metabólitos menos tóxicos, que se acumulam nos seus tecidos, é um processo mais barato e menos destrutivo que a remediação química ou física, embora mais demorado (Kawahigashi 2009).

Dentre os mecanismos fisiológicos responsáveis pela remediação do solo, destacam-se a fitoextração e a fitoestimulação. Na fitoextração, o herbicida é absorvido pelas raízes das plantas remediadoras, podendo ser fitocompartimentalizado, fitovolatilizado, fitoexudado ou fitodegradado (Schnoor et al. 1995, Susarla et al. 2002). Na fitoestimulação, a planta remediadora libera compostos que estimulam a microbiota do solo a metabolizar o contaminante (Santos et al. 2007a).

Em concordância com esses métodos, a espécie remediadora deve, então, apresentar características necessárias para o correto funcionamento do processo, sendo a principal delas a de ser tolerante a altos níveis do contaminante, no ambiente a ser remediado. Essa tolerância pode ser resultante de processos como a translocação diferencial de compostos orgânicos para outros tecidos da planta, com subsequente volatilização, ou da degradação parcial ou completa, por meio da transformação em compostos menos tóxicos, combinados e/ou ligados aos tecidos das plantas (Accioly & Siqueira 2000).

Diversos trabalhos vêm demonstrando que espécies como o capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*), *Panicum maximum* e *Urochloa/Brachiaria* sp. possuem alto potencial para fitorremediação de solos contaminados por picloram, podendo ser introduzidas em programas de descontaminação

ambiental desse xenobiótico (Belo et al. 2007a e 2007b, Santos et al. 2007b, Carmo et al. 2008a e 2008b, Pires et al. 2008, Procópio et al. 2008).

Na avaliação do potencial fitorremediador de algumas espécies vegetais, são utilizadas, hoje em dia, técnicas fisiológicas de aferição da fluorescência da clorofila *a* das plantas bioindicadoras submetidas ao estresse fotossintético resultante do contato com o herbicida (Ireland et al. 1986). A ferramenta disponível para tal mensuração é o fluorômetro, capaz de identificar modificações negativas no aparelho fotossintético, quando as mesmas não são detectadas visualmente na planta (Giroto et al. 2011).

Desse modo, existem diversas variáveis que podem ser estudadas, como a aferição da fluorescência da clorofila *a*, determinada pelas seguintes variáveis: fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), relação fluorescência variável/fluorescência máxima (F_v/F_m) e taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) (Krause & Weis 1991).

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a fitorremediação de solos tratados com picloram, em diferentes períodos de cultivo de *Urochloa brizantha* cv. Piatã, bem como analisar as características fisiológicas e vegetativas de plantas de feijão utilizadas como cultura bioindicadora.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado de junho de 2012 a junho de 2013, em vasos de 20 L, distribuídos em casa-de-vegetação da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina (MG) (18°12'S, 43°34'W e 1.387 m de altitude), com temperatura média anual de 18°C, índice médio pluviométrico anual de 1.404,7 mm e clima Cwb, segundo a classificação de Köppen, ou seja, temperado úmido, com inverno seco e chuvas no verão.

O solo para o cultivo das plantas foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, cujas análises química e física são apresentadas na Tabela 1. As amostras do solo em estudo foram colhidas à profundidade de 0-20 cm, em área sem histórico de aplicação de herbicidas, e passadas em peneira com malha de 4 mm.

Foram preenchidos vasos de 20 L, revestidos com filme de polietileno, visando a evitar a perda do herbicida por lixiviação, utilizando-se 17,0 kg de substrato por recipiente, os quais foram irrigados ajustando-se a umidade próxima a 80% da capacidade

Tabela 1. Características físicas e químicas do Argissolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento (Diamantina, MG, 2012).

| Análise granulométrica (dag kg ⁻¹) | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|--------|------------------|------------------------------------|------------------|----------------------|-----|-----|-----|------|-----|
| Areia | Silte | Argila | Classe textural | | | | | | | | |
| 38,0 | 6,0 | 56,0 | Argilosa | | | | | | | | |
| Análise química | | | | | | | | | | | |
| pH | P | K | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Al ⁺³ | H + Al | SB | t | T | m | V |
| H ₂ O | mg dm ⁻³ | | | cmol _c dm ⁻³ | | | | | % | | |
| 6,1 | 1,3 | 8,0 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 4,6 | 0,3 | 0,6 | 4,9 | 50,0 | 6,0 |
| P-rem | Zn | Fe | Mn | Cu | B | MO | | | | | |
| mg L ⁻¹ | mg dm ⁻³ | | | | | dag kg ⁻¹ | | | | | |
| 7,3 | 0,2 | 30,5 | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 1,9 | | | | | |

pH água: relação solo-água 1:2,5; P e K: extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; m: saturação de alumínio; V: saturação por bases; MO: teor de matéria orgânica determinado pelo método de oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio ácido multiplicado por 1,724.

de campo. Em seguida, procedeu-se à aplicação de picloram (Padron[®]), na dose de 240 g ha⁻¹, com pulverizador de precisão pressurizado a CO₂, equipado com bicos TT110.02 espaçados em 0,5 m, calibrado para aplicação de 100 L ha⁻¹ de calda.

Adotou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos foram compostos pelo cultivo de *Urochloa brizantha* por cerca de 150, 210, 240, 270 e 300 dias após a semeadura (DAS), com posterior corte da mesma e plantio da espécie bioindicadora (feijão cultivar Pérola). Para efeito de comparação, foi constituído um tratamento composto pelo cultivo de braquiária em solo não tratado por picloram.

A semeadura da braquiária foi realizada cinco dias após a aplicação de picloram, sendo que, sete dias após a emergência, foi realizado desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. A adubação foi realizada de acordo com Cantarutti et al. (1999), sendo respeitado o teor de nutrientes recomendado para *Urochloa brizantha*. Na ocasião do plantio do feijão (cultura bioindicadora), o mesmo foi adubado via solo, semanalmente, até o final do experimento, com o adubo foliar Sempre Verde[®] (15-15-20), na proporção de 5 g L⁻¹.

Após o período de cultivo da braquiária referido em cada tratamento, realizaram-se as avaliações do potencial fitorremediador proporcionado por essa planta, retirando-se, assim, as plantas de cada vaso e coletando-se os dados de massa da matéria seca (g) para cada tratamento.

Logo após a realização dessas avaliações, e após os referidos períodos de cultivo da braquiária, para cada tratamento, semeou-se, em cada vaso, o feijão (cultivar Pérola), sendo essa planta utilizada como bioindicadora da presença de resíduos no solo

tratado e para averiguar a possível descontaminação do mesmo. Aos 50 DAS, determinou-se a biomassa da matéria verde e da matéria seca (g), altura de planta, intoxicação aos 25 e 50 DAS, área foliar, número de folhas/planta e estimativa da fluorescência da clorofila *a* das plantas.

A altura das plantas foi medida utilizando-se régua graduada. Posteriormente, as plantas foram colhidas, pesadas em balança eletrônica com precisão de 0,0001 g (determinação da massa da matéria verde) e acondicionadas em sacos de papel, sendo conduzidas para o laboratório, onde foram feitas as determinações da área foliar, por meio de escaneamento e digitalização. A área foliar foi determinada com o programa Determinador Digital de Áreas (DAA) (Ferreira et al. 2008). Em seguida, a parte aérea coletada das plantas de feijão foi seca em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, até massa constante. A matéria seca acumulada foi aferida pesando-se esse material em balança eletrônica com precisão de 0,0001 g.

As variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram determinadas com fluorímetro portátil de luz modulada MINI-PAM (Walz, Germany), a partir do qual foram obtidas a fluorescência inicial (F₀), fluorescência máxima (F_m), relação do PSII (F_v/F_m) e taxa relativa de transporte de elétrons (ETR), quantificados a partir das avaliações na folha mais jovem, com limbo foliar totalmente expandido.

Ao final do experimento, procedeu-se à análise química do solo (Tabela 2), a fim de se verificar a influência dessa no comportamento do herbicida no meio. As amostras do solo em estudo foram retiradas à profundidade de 0-15 cm, sendo elaborada uma amostra composta representativa para todos os tratamentos.

Tabela 2. Características físicas e químicas do Argissolo Vermelho-Amarelo, após fitorremediação do herbicida picloram (Diamantina, MG, 2013).

| Análise granulométrica (dag kg ⁻¹) | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|--------|------------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------|------|------|-------|-------|
| Areia | Silte | Argila | Classe textural | | | | | | | | |
| 38,00 | 6,00 | 56,00 | Argilosa | | | | | | | | |
| Análise química | | | | | | | | | | | |
| pH | P | K | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Al ⁺³ | H + Al | SB | t | T | m | V |
| H ₂ O | mg dm ⁻³ | | cmol _c dm ⁻³ | | | | | % | | | |
| 5,40 | 6,63 | 56,07 | 0,80 | 0,30 | 0,34 | 5,80 | 1,24 | 1,58 | 7,04 | 21,00 | 18,00 |
| P-rem | Zn | Fe | Mn | Cu | B | MO | | | | | |
| mg L ⁻¹ | mg dm ⁻³ | | | | | dag kg ⁻¹ | | | | | |
| - | 1,27 | 38,52 | 2,59 | 0,00 | 0,69 | 0,90 | | | | | |

pH água: relação solo-água 1:2,5; P e K: extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; m: saturação de alumínio; V: saturação por bases; MO: teor de matéria orgânica determinado pelo método da oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio ácido multiplicado por 1,724.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. A análise dos efeitos significativos do período de cultivo da espécie fitorremediadora dentro da dose testada do herbicida foi efetuada por análise de regressão, sendo os coeficientes das equações testados pelo teste t, a 5%. A escolha dos modelos foi baseada na significância, no fenômeno biológico e no coeficiente de determinação dos mesmos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se o número de folhas e a área foliar das plantas de feijão utilizadas como cultura bioindicadora, observou-se tendência de acréscimo nos valores dessas variáveis, com o incremento no número de dias de crescimento da braquiária nos vasos (Figuras 1a e 1b). O ponto de mínima resposta foi correspondente ao período de 169 dias de cultivo da espécie remediadora. Esses resultados mostram ótima relação entre as duas variáveis, com alta sensibilidade do feijão, quando na presença de picloram no solo, mesmo quando submetido a 300 dias de remediação pela braquiária, o que reforça o cuidado com o plantio dessa leguminosa, em áreas antes tratadas com esse herbicida.

Para a massa da matéria verde e seca das plantas de feijão, houve maior incremento (Figuras 1c e 1d) à medida que se aumentou o período de crescimento da espécie remediadora nos vasos, observando-se ponto de mínima resposta aos 181 e 67 dias, respectivamente, para as duas variáveis analisadas. Carmo et al. (2008a), trabalhando com diferentes épocas de cultivo de *Panicum maximim* (cultivar Tanzânia), nas doses de 80 g ha⁻¹ e 160 g ha⁻¹, também obtiveram resultados satisfatórios, com maior acúmulo de massa

da matéria seca nas plantas bioindicadoras à medida que aumentaram os dias de permanência da espécie fitorremediadora.

Quanto à altura de plantas de feijão (Figura 2a), observou-se aumento nos valores dessa variável à medida que se aumentou o período de cultivo da braquiária nos vasos, sendo que o ponto de mínima foi observado aos 185 DAS. Dessa forma, quanto maior o tempo de permanência da braquiária, maior foi o potencial remediador da espécie, pois, aos 300 dias após a semeadura, obteve-se melhor resposta no crescimento das plantas de feijão. Esse fato leva a crer que ocorre maior descontaminação do solo com o maior tempo de permanência da espécie fitorremediadora no solo contaminado.

Esses resultados corroboram os de Carmo et al. (2008b), os quais observaram relação positiva no incremento da altura de plantas de tomate (cultura bioindicadora), à medida que se aumentou o período de crescimento da forrageira na área, na avaliação de períodos de cultivo de capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*) na remediação de solo contaminado com picloram.

A intoxicação das plantas de feijão analisada por notas visuais, aos 25 e 50 DAS, variou de 0% a 100%, para plantas sem sintomas de intoxicação ou mortas pelo herbicida, respectivamente. Constatou-se que, nas duas épocas de avaliação, com o aumento do período de cultivo da braquiária, foi constatada menor intoxicação nas plantas de feijão. Os menores índices de intoxicação das plantas de feijão foram observados com 300 dias de cultivo da braquiária nos vasos (Figura 2b).

Quanto à fase de transporte de elétrons, durante a fotossíntese nas plantas, verifica-se que a luz é ab-

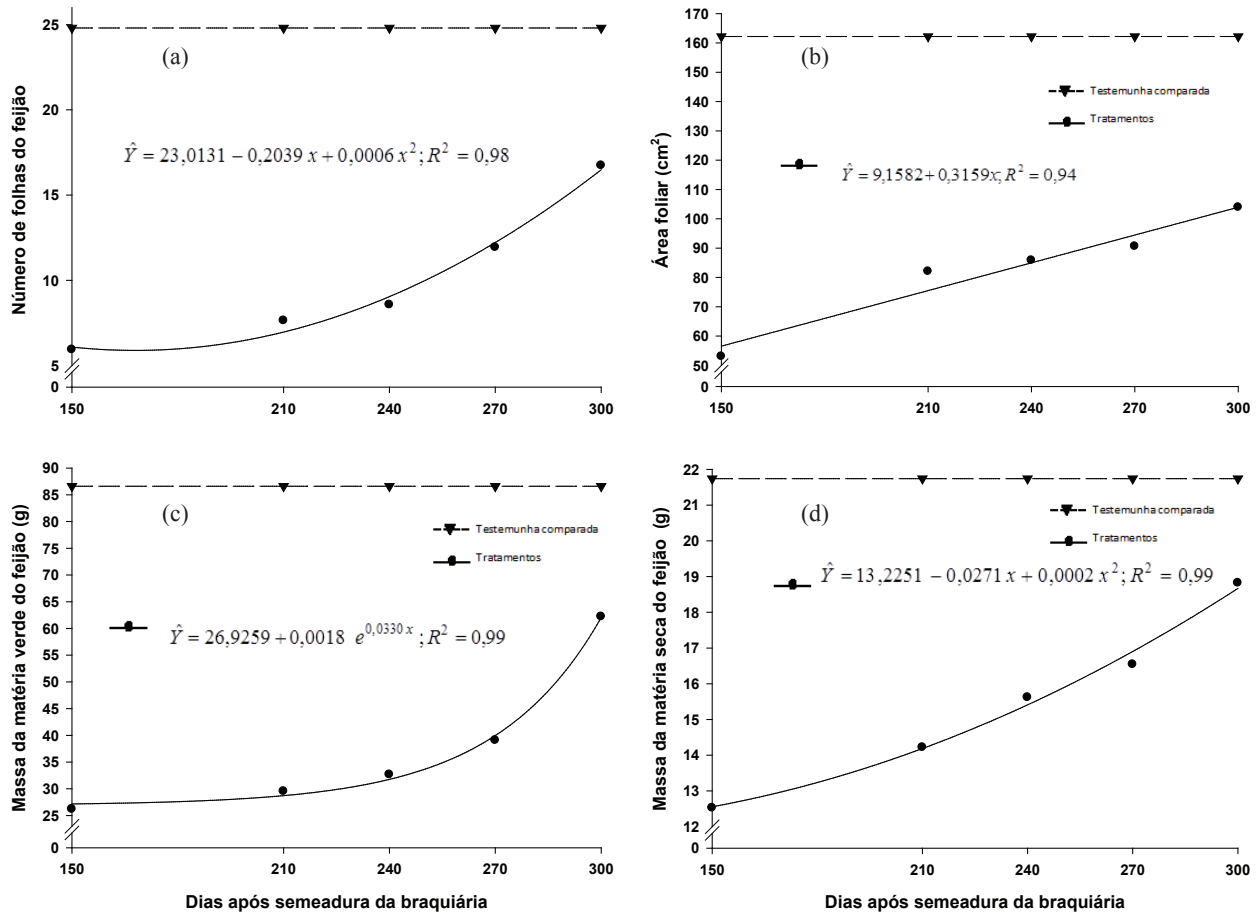


Figura 1. Número de folhas (a), área foliar (b), massa da matéria verde (c) e massa da matéria seca (d) de plantas de feijoeiro cultivadas em solos tratados com picloram, após diferentes períodos de cultivo de braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Piatã) (Diamantina, MG, 2012/2013).

sorvida pelos pigmentos do complexo antena, que, ao excitarem os elétrons, transferem energia para os centros de reação dos fotossistemas I e II (Young & Frank 1996). Entretanto, com excesso de energia, essa pode ser dissipada na forma de fluorescência (Krause & Winter 1996). Nesse tipo de avaliação, são utilizados fluorômetros, que podem detectar as injúrias causadas ao aparelho fotossintético, mesmo quando o sintoma ainda não é visível (Ireland et al. 1986).

Para a relação F_v/F_m , obteve-se aumento linear na eficiência fotossintética máxima, à medida que se aumentou o período de cultivo da braquiária nos vasos (Figura 3a). Quando uma planta está com seu aparelho fotossintético intacto, a razão F_v/F_m deve variar entre 0,75 e 0,85 (Bolhár-Nordenkampf et al. 1989), enquanto a queda nessa razão reflete a presença de dano fotoinibitório na mesma (Björkman & Demming 1987). Dessa forma, esses valores só foram representativos aos 270 e 300 dias após a sementeira

da cultura remediadora, ou seja, somente a partir dessas datas não foi constatado dano fotoinibitório às plantas de feijão.

Avaliando-se a taxa relativa de transporte de elétrons (ETR), verificou-se aumento nos valores dessa variável à medida que se estendeu o período de cultivo da braquiária nos vasos, mostrando, assim, menor efeito do herbicida nas plantas de feijão (Figura 3b). De acordo com Mohammed et al. (1995), o valor da variável ETR aumenta de acordo com a intensidade da luz, até que ocorra saturação dos carreadores de elétrons. Dessa forma, a taxa de ETR pode estar relacionada com a taxa fotossintética bruta (AG), apresentando o mesmo padrão da curva de assimilação de CO₂. Como neste estudo a curva de assimilação de CO₂ não foi estimada, pode-se pressupor que as curvas de ETR sugerem que as taxas fotossintéticas, juntamente com o transporte de elétrons das plantas de feijão, aumentaram à medida

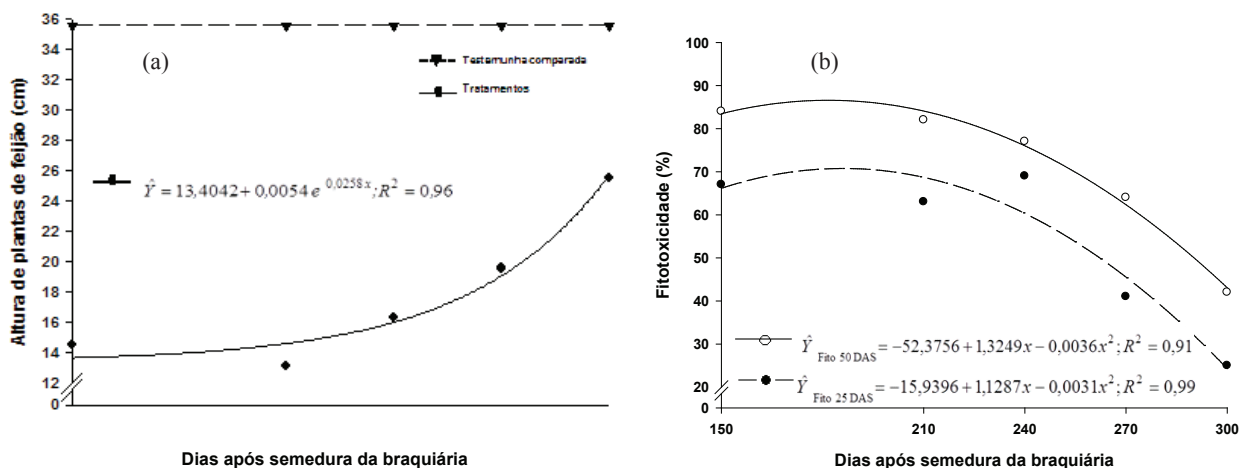


Figura 2. Altura de plantas (a) e intoxicação de plantas de feijão aos 25 e 50 DAS (b) de plantas de feijoeiro cultivadas em solos tratados com picloram, após diferentes períodos de cultivo de braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Piatã) (Diamantina, MG, 2012/2013).

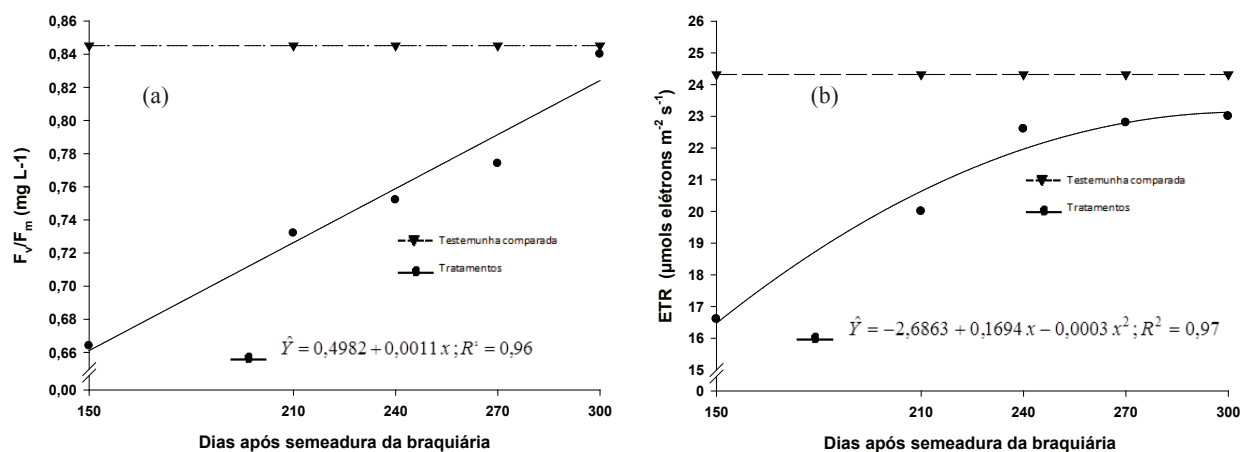


Figura 3. Rendimento quântico máximo do PSII (a) e taxa relativa de transporte de elétrons (b) de plantas de feijoeiro cultivadas em solos tratados com picloram, após diferentes períodos de cultivo de braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Piatã) (Diamantina, MG, 2012/2013).

que se elevou o período de cultivo da braquiária nos vasos.

Ao se compararem as análises de solo realizadas antes e após os ensaios, foi possível afirmar que o cultivo sucessivo, tanto da espécie remediadora quanto da espécie bioindicadora, colaborou para uma redução expressiva na matéria orgânica do solo, que, associada ao fato de o picloram ser um herbicida ácido ($pK_a < pH$ do solo), favoreceu uma maior dissociação do herbicida e, conseqüentemente, maior absorção do mesmo pelas plantas bioindicadoras cultivadas.

Segundo Silva et al. (2007), em solos com valores de pH superiores ao valor de pK_a do herbicida, ocorre maior liberação deste à solução do solo

e, assim, maior disponibilidade ao meio. D'Antonino et al. (2009), trabalhando com três tipos de solo com diferentes valores de pH, constataram que o pH foi determinante para que ocorresse maior poder de dissociação e alto potencial de lixiviação do herbicida picloram nos mesmos.

CONCLUSÕES

1. O cultivo prévio de *Urochloa brizantha* cv. Piatã, por 300 dias, possibilitou maior descontaminação do solo e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento morfológico das plantas de feijão, além de menores efeitos negativos na fisiologia dessa cultura.

2. Plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* cv. Pérola) demonstraram alta sensibilidade ao residual do herbicida picloram, mostrando-se viáveis como bioindicadores desse herbicida.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; SCHAEFER, E. G. R. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 299-352.
- ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. R. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do Rio Corumbá e o risco de poluição hídrica. *Química Nova*, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 975-982, 2005.
- BELO, A. F. et al. Efeito da umidade do solo sobre a capacidade de *Canavalia ensiformis* e *Stizolobium aterrimum* em remediar solos contaminados com herbicidas. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 239-249, 2007a.
- BELO, A. F. et al. Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com trifloxysulfuron-sodium. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 251-258, 2007b.
- BJÖRKMAN, O.; DEMMING, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 k among vascular plants of diverse origins. *Planta*, Heidelberg, v. 170, n. 4, p. 61-66, 1987.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. *Functional Ecology*, Londres, v. 3, n. 2, p. 497-514, 1989.
- BOVEY, R. W.; RICHARDSON, C. W. Dissipation of clopyralid and picloram in soil and seep flow in the backlands Texas. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 20, n. 3, p. 528-531, 1991.
- CABRAL, M. F. et al. Estudo do comportamento eletroquímico do herbicida ametryn utilizando a técnica de voltametria de onda quadrada. *Eclética Química*, Araraquara, v. 28, n. 2, p. 41-47, 2003.
- CANTARUTTI, R. B. et al. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALAVAREZ, V. H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 332-339.
- CARMO, M. L. et al. Influência do período de cultivo de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 315-322, 2008a.
- CARMO, M. L. et al. Influência do período de cultivo de capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 601-609, 2008b.
- COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. *Silva Lusitana*, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.
- D'ANTONINO, L. et al. Efeitos de culturas na persistência de herbicidas auxínicos no solo. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 371-378, 2009.
- FERREIRA, O. G. L.; ROSSI, F. D.; ANDRIGHETTO, C. *DDA*: software para determinação de área foliar, índice de área foliar e área de olho de lombo. Versão 1.2. Santo Augusto: IFFarroupilha, 2008.
- GIROTTO, M. et al. Eficiência fotossintética de cana-de-açúcar submetida à aplicação de atrazine e tebuthiuron em pré-emergência. *Revista Brasileira de Herbicidas*, Maringá, v. 10, n. 2, p. 134-142, 2011.
- IRELAND, C. R.; PERCIVAL, M. P.; BAKER, N. R. Modification of the induction of photosynthesis in wheat by glyphosate, an inhibitor of amino acid metabolism. *Journal of Experimental Botany*, Lancaster, v. 37, n. 1, p. 299-308, 1986.
- KAWAHIGASHI, H. Transgenic plants for phytoremediation of herbicides. *Current Opinion in Biotechnology*, Berlin, v. 20, n. 2, p. 225-230, 2009.
- KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Plant Molecular Biology*, Zurique, v. 42, n. 1, p. 313-349, 1991.
- KRAUSE, G. H.; WINTER, K. Photoinhibition of photosynthesis in plants growing in natural tropical forest gaps: a chlorophyll fluorescence study. *Botanica Acta*, Belo Horizonte, v. 109, n. 6, p. 456-462, 1996.
- MOHAMED, G. H.; BINDER, W. D.; GILLES, L. Chlorophyll fluorescence: a review of its practical forestry applications and instrumentation. *Scandinavian Journal of Forage Research*, British Columbia, v. 10, n. 1, p. 383-410, 1995.
- PIRES, F. R. et al. Avaliação da fitorremediação de tebuthiuron utilizando *Crotalaria juncea* como planta indicadora. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 39, n. 2, p. 245-250, 2008.
- PIRES, F. R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.
- PROCÓPIO, S. O. et al. Características fisiológicas das culturas de soja e feijão e de três espécies de plantas

- daninhas. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 211-216, 2004.
- PROCÓPIO, S. O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2517-2524, 2008.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. (Eds.). *Guia de herbicidas*. 6. ed. Londrina: Ed. dos Autores, 2011.
- SANTOS, E. A. et al. Fitoestimulação por *Stizolobium aterrimum* como processo de remediação de solo contaminado com *trifloxysulfuron sodium*. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 259-265, 2007a.
- SANTOS, J. B. et al. Fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. *Tópicos em manejo de plantas daninhas*. Viçosa: UFV, 2007b. p. 249-278.
- SANTOS, M. V. et al. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 391-398, 2006.
- SCHNOOR, J. L. et al. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. *Environmental Science & Technology*, Washington, DC, v. 29, n. 7, p. 318-323, 1995.
- SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). *Tópicos em manejo de plantas daninhas*. Viçosa: UFV, 2007. p. 83-148.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA (Sindag). *Dados 2009*. 2009. Disponível em: <<http://www.sindag.com.br>>. Acesso em: 24 ago. 2013.
- SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; MCCUTCHEON, S. C. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, Naples, v. 18, n. 5, p. 647-658, 2002.
- YOUNG, A. L.; FRANK, H. A. Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, Lausanne, v. 36, n. 1, p. 3-15, 1996.