

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
HINGRED QUEIROZ GUIMARÃES**

**FITORREMEDIÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM DICLOSULAM
UTILIZANDO *Dolichos lablab*, *Canavalia ensiformis* E *Calopogonium muconoides***

SÃO JOÃO EVANGELISTA

2016

HINGRED QUEIROZ GUIMARÃES

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM DICLOSULAM
UTILIZANDO *Dolichos lablab*, *Canavalia ensiformis* E *Calopogonium muconoides***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Me Alisson José Eufrásio de Carvalho

SÃO JOÃO EVANGELISTA

2016

HINGRED QUEIROZ GUIMARÃES

**FITORREMEDIÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM DICLOSULAM
UTILIZANDO *Dolichos lablab*, *Canavalia ensiformis*, e *Calopogonium muconoides***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus
São João Evangelista como exigência parcial
para obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Aprovada em13.12.2016.....

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista



Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista



Mestrando Ari Medeiros Braga Neto

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

A DEUS, por ter me concedido a graça de concluir
mais uma etapa de minha caminhada com sucesso
e ter me proporcionado saúde e sabedoria para suportar esta jornada.
Aos meus pais, Neide e Adelme, que com grande esforço e amor,
juntos formam a base estruturante do meu crescimento.
Aos meus irmãos, Higor e Hugo, pelo incentivo.
Ao meu namorado, Álvaro, pelo apoio incondicional nas batalhas diárias.
E a todos que acreditaram em mim, com carinho.
DEDICO.

Agradecimentos

Agradeço a DEUS pela dádiva da vida, por me permitir concretizar este sonho!

Aos meus pais, Neide Queiroz e Adelme Guimarães, pelo apoio, carinho, compreensão e amor.

Aos meus irmãos, Higor e Hugo, pelo constante incentivo.

Ao meu namorado, Álvaro Freire, que tornou essa jornada tão mais agradável e me apoiou incondicionalmente nas batalhas diárias!

Ao meu orientador, professor Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho. Obrigado pelos valiosos ensinamentos transmitidos, pela paciência, compreensão e dedicação.

A todos os meus colegas de turma, pela amizade e companheirismo! Em especial às amigas Danubya, Sílvia e Jéssika!

Ao Instituto Federal de Minas Gerais campus São João Evangelista, pela oportunidade de realização desta graduação.

À Empresa AGROVISÃO por todo apoio e incentivo!

Enfim, agradeço a todos que torceram por mim na realização deste sonho e dedico a todos vocês esta conquista!

RESUMO

Espécies de adubos verdes tolerantes ao herbicida diclosulam podem ser utilizadas em rotação de culturas para diminuir o efeito fitotóxico subsequente desse herbicida em plantas sensíveis, como o girassol ou milho. O objetivo deste trabalho foi avaliar a tolerância de adubos verdes ao diclosulam e a capacidade dessas plantas em diminuir o efeito fitotóxico do herbicida no bioindicador *Helianthus annuus*. Foram avaliadas, em casa de vegetação, quatro doses do herbicida diclosulam (0; 15; 30 e 60 g .ha⁻¹) em pré-emergência dos adubos verdes *Dolichos lablab*, *Canavalia ensiformis* e *Calopogonium muconoides*. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 3 x 4, sendo três espécies fitorremediadoras, quatro doses de diclosulam (0; 15; 30 e 60 g .ha⁻¹) e cinco repetições. A parte aérea dessas plantas foi coletada após 60 dias da emergência, sendo semeado *Helianthus annuus* como bioindicador do herbicida diclosulam, cultivado por 45 dias após a semeadura. Os resultados evidenciaram as três espécies de adubos verdes estudadas no presente trabalho são eficientes na fitorremediação de solos contaminados com diclosulam.

Palavras-chave: Adubos verdes. *Helianthus annuus*. Fitotoxicidade.

ABSTRACT

Diclosulam herbicide tolerant green manure species may be used in crop rotation to decrease the subsequent phytotoxic effect of this herbicide on sensitive plants such as sunflower or corn. The aim of this work was to evaluate the tolerance of green manures to diclosulam and the ability of these plants to reduce the phytotoxic effect of the herbicide against the bioindicator *Helianthus annuus*. In order to perform this, four doses of diclosulam herbicide were evaluated in greenhouse (0; 15; 30 e 60 g .ha⁻¹). In pre-emergence of the green manures *Dolichos lablab*, *Canavalia ensiformis* and *Calopogonium muconoides*. The treatments were arranged in a 3 x 4 factorial scheme, three phytoremediation species, four doses of diclosulam (0; 15; 30 e 60 g .ha⁻¹) and five replicates. The aerial part of these plants was collected after 60 days of emergence, and *Helianthus annuus* was sown as a bioindicator of the herbicide diclosulam, cultivated for 45 days after sowing. The results evidenced that the three species of green manures studied in the present work are efficient in the phytoremediation of soils contaminated with diclosulam.

Key words: Green fertilizers. *Helianthus annuus*. Phytotoxicity.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 A CULTURA DA SOJA.....	11
2.1.1 Dados econômicos	11
2.1.2 Rotação de culturas	11
2.1.3 Manejo de plantas daninhas	12
2.2 DICLOSULAM	13
2.3 FITORREMEDIAÇÃO.....	14
2.4 FITORREMEIADORAS.....	16
2.4.1 <i>Dolichos lablab</i>	16
2.4.2 <i>Canavalia ensiformis</i>	16
2.4.3 <i>Calopogonium mucunoides</i>	17
2.5 <i>Helianthus annuus l.</i>	18
3 METODOLOGIA	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DAS LEGUMINOSAS	23
4.2 MATÉRIA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DO GIRASSOL.....	24
4.3 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO DO GIRASSOL (IVG)	25
4.4 ALTURA DAS PLANTAS DE GIRASSOL.....	26
4.5 ÍNDICE DE FITOTOXICIDADE AVALIADO PARA AS FITORREMEIADORAS E O GIRASSOL.....	27
5 CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química da camada arável (0 - 20cm) do solo utilizado no experimento.	20
Tabela 2 - Avaliação de fitotoxicidade de acordo com a escala de Alam (1974).	21
Tabela 3 - Média da Composição química da camada arável (0 - 20cm) do solo contido nas unidades experimentais do experimento.....	21
Tabela 4. Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras do diclosulam.	23
Tabela 5. Massa fresca e seca da parte aérea das espécies utilizadas para fitorremediação do diclosulam.....	23
Tabela 6. Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.	24
Tabela 7 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.	26
Tabela 8 - Resumo da análise de variância da altura avaliada na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.....	26
Tabela 9 - Altura das plantas de girassol cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicidas diclosulam e em sucessão a espécies fitorremediadoras.....	27
Tabela 10 - Altura da parte aérea de girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.....	27
Tabela 11 - Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras e na cultura do girassol cultivado em sucessão as espécies fitorremediadoras.....	27
Tabela 12 - Porcentagem de fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes de diclosulam.....	28
Tabela 13 - Fitotoxicidade do diclosulam nas plantas de girassol em solo fitorremediado por diferentes leguminosas.	28

1 INTRODUÇÃO

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada em grãos do país (MAPA, 2016). As plantas daninhas constituem grande problema para a cultura da soja e a necessidade de controlá-las, um imperativo. Conforme a espécie, a densidade e a distribuição da invasora na lavoura, as perdas são significativas. A invasora prejudica a cultura, pois compete pela luz solar, água e nutrientes, podendo, a depender do nível de infestação e da espécie, dificultar a operação de colheita e comprometer a qualidade do grão (EMBRAPA, 2003).

A utilização de herbicidas é prática comum na atividade agropecuária e consiste em importante ferramenta para se alcançar elevadas produções em áreas extensas (PIRES, 2003). Todavia, o emprego de moléculas que apresentam longo período residual no solo pode resultar na impossibilidade de uso da área por espécies de interesse agrícola, susceptíveis ao herbicida em questão (PROCÓPIO, 2004).

O diclosulam é um herbicida seletivo, aplicado no solo, pertencente ao grupo químico sulfoanilida, que age inibindo a enzima ALS, ocasionando o bloqueio da síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina. É registrado para a cultura de soja no controle de espécies de folhas largas em pré-plantio incorporado (PPI) ou em pré-emergência (RODRIGUES e ALMEIDA, 1998).

O diclosulam é absorvido principalmente pelas raízes e caulículo, possui ação sistêmica e tem metabolismo rápido em espécies tolerantes como soja. Os sintomas, que se tornam evidentes em uma a duas semanas após a aplicação, incluem paralisação do crescimento, amarelecimento dos meristemas e redução do sistema radicular, com as raízes secundárias apresentando-se uniformemente curtas e engrossadas (VARGAS e ROMAM, 2006).

Mesmo sendo um produto utilizado em baixas concentrações na cultura da soja (em torno de 30 g.ha^{-1}), o período de espera para o plantio de culturas sensíveis, recomendado pelo fabricante, é de, aproximadamente, dezoito meses a contar de sua aplicação (Spider [bula]. Michigan: The Dow Chemical Company). Esse fato pode limitar sua utilização em áreas onde o agricultor cultiva, por exemplo, girassol na safrinha.

A presença de herbicidas no solo por longo tempo, além de causar sérios impactos na microbiota do solo e contaminação de água subterrânea, pode inviabilizar a rotação de culturas quando estão envolvidas espécies sensíveis ao princípio ativo (PROCÓPIO, 2004).

Fitorremediação é uma técnica que utiliza a associação de plantas e sua comunidade microbiana para degradar, sequestrar ou imobilizar compostos tóxicos no solo (VASCONCELOS, 2012). Essa técnica pode ser uma alternativa para reduzir o efeito de herbicidas em culturas sucedâneas suscetíveis (PIRES, 2003).

O uso de plantas para despoluir áreas com solos contaminados apresenta elevado potencial de utilização em relação aos métodos convencionais, por apresentar maior competência para tratamento *in situ* e ser economicamente viável. Essa técnica, que no Brasil é ainda incipiente, tem seu uso difundido nos Estados Unidos e na Europa, principalmente na remediação de metais pesados, sendo identificadas algumas espécies de comprovada eficiência (SANTOS, 2004).

A seleção de plantas que apresentem tolerância ao pesticida é o primeiro passo na seleção de espécies potencialmente fitorremediadoras (PROCÓPIO, 2004). Os adubos verdes são culturas geralmente muito competitivas com as plantas daninhas e vêm sendo alvo de estudo sobre remediação de herbicidas em áreas agrícolas (PIRES, 2003). O objetivo principal da utilização da adubação verde é a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo; entretanto, muitas dessas plantas possuem grande poder inibitório sobre determinadas plantas daninhas, mesmo após o corte e formação de uma cobertura morta sobre o solo (MONQUERO, 2013).

Segundo Inoue, (2012) dentre as técnicas analíticas que permitem a identificação e quantificação de resíduos de herbicidas no solo, destacam-se o uso de radioisótopos e a cromatografia líquida e gasosa. Alternativamente, podem-se utilizar espécies vegetais que apresentam alta sensibilidade ao herbicida de interesse (bioindicadores), sendo esta técnica mais acessível que as citadas anteriormente devido ao menor custo para sua realização.

As vantagens dos bioensaios em estudos de comportamento de herbicidas no solo incluem, além da sua simplicidade e versatilidade, a alta sensibilidade à detecção de metabólitos tóxicos que pode não ocorrer com métodos químicos altamente específicos e a habilidade de quantificar apenas a fração biologicamente ativa do herbicida, o que tem aplicabilidade direta em condições de campo (GUERRA, 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar três espécies de adubos verdes quanto à sua tolerância ao diclosulam e potencial de redução do efeito fitotóxico desse herbicida na cultura do girassol.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CULTURA DA SOJA

2.1.1 Dados econômicos

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada em grãos do país. O aumento da produtividade está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e eficiência dos produtores. O grão é componente essencial na fabricação de rações animais e com uso crescente na alimentação humana encontra-se em pleno crescimento (MAPA, 2016).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos EUA. Na safra 2015/2016, a cultura ocupou uma área de 33,17 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 95,63 milhões de toneladas. A produtividade média da soja brasileira foi de 2.882 kg por hectare (EMBRAPA, 2016).

O gerenciamento eficiente no agronegócio soja, através da adoção de tecnologias que visam reduzir riscos e custos e aumentar a produtividade de forma sustentável, preservando-se o meio ambiente, tem importância especial. Possibilita ao profissional da área a participação em mercados cada vez mais globalizados e competitivos (EMBRAPA, 2013).

2.1.2 Rotação de culturas

A rotação de culturas, juntamente com a cobertura permanente e o mínimo revolvimento do solo, compõe os princípios básicos do sistema plantio direto (SPD). A ausência dessa prática acarreta o surgimento de alterações de ordem química, física e biológica no solo, que podem comprometer a estabilidade do sistema produtivo (FRANCHINI, et al. 2011).

A monocultura ou mesmo o sistema contínuo de sucessão do tipo trigo-soja ou milho safrinha-soja, tende a provocar a degradação física, química e biológica do solo e a redução da produtividade das culturas, além de proporcionar condições mais favoráveis para o desenvolvimento de doenças, pragas e plantas daninhas (EMBRAPA, 2013).

A rotação de culturas apresenta como principais vantagens a contribuição para a melhoria e manutenção da fertilidade do solo (FIDELIS, ROCHA, *et al.*, 2003).

A ciclagem de nutrientes é outro benefício importante, pois diferentes culturas requerem adubações diferenciadas, sendo também diferentes os resíduos que permanecerão após os cultivos (FRANCHINI, COSTA, *et al.*, 2011). Além disso, a utilização de diferentes espécies vegetais para produção de grãos ou forragem permite a diversificação da renda da propriedade, reduzindo os riscos de mercado e de clima inerentes à produção agropecuária (FRANCHINI, *et al.* 2011).

Embora nos últimos anos, a permanência de áreas em pousio no outono/inverno, no período de entressafra das culturas comerciais de verão, tenha diminuído significativamente, essa situação ainda é observada em algumas lavouras do Sul do Brasil. A cobertura vegetal deficiente nesse período deixa o solo mais suscetível à ocorrência de erosão, bem como ao aparecimento de plantas indesejáveis (CARNEIRO, CORDEIRO, *et al.*, 2008).

A escolha das culturas e do sistema de rotação deve ter flexibilidade, de modo a atender às particularidades regionais e as perspectivas de comercialização dos produtos. A rotação possibilita o estabelecimento de esquemas que envolvam apenas culturas anuais, tais como soja, milho, arroz, sorgo, algodão, feijão e girassol ou de culturas anuais e pastagem (EMBRAPA, 2013).

2.1.3 Manejo de plantas daninhas

As plantas daninhas competem com a cultura de soja pelos recursos (luz, água, nutrientes e espaço). Essa competição é indesejável, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, devido a possíveis perdas na produtividade, que podem ser superiores a 80% ou até mesmo, em casos extremos, inviabilizar a colheita (VARGAS, 2006).

O manejo de plantas infestantes na cultura da soja tem se mostrado eficiente quando relacionado com o manejo cultural (adubação verde) e com o manejo químico, que sem dúvida, é o mais utilizado na lavoura de soja, podendo este último ser utilizado tanto no plantio convencional como no sistema de plantio direto com elevada eficiência (DEUBER, 1992).

Os métodos normalmente utilizados para controlar as invasoras são o mecânico, o químico e o cultural. Quando possível, é aconselhável utilizar a combinação de dois ou mais métodos (EMBRAPA, 2003).

Em áreas que se adota sistema plantio direto, a dessecação antes da semeadura elimina as plantas estabelecidas e proporciona a formação de cobertura morta. Essa palhada exerce

efeito físico sobre a população de plantas daninhas, atuando sobre a passagem de luz, temperatura e umidade do solo, e ainda pode liberar substâncias alelopáticas, criando condições adversas para a germinação e o estabelecimento de plantas daninhas (FRANCHINI, et al. 2011).

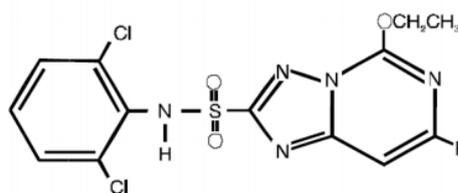
Deuber (1992) afirma que a descoberta dos herbicidas, como uma nova ferramenta para o controle das plantas daninhas, trouxe um progresso incalculável, abrindo novas possibilidades agrícolas, reduzindo custos, aumentando rendimentos e, sobretudo, possibilitando ao homem do campo realizar com maior facilidade essa tarefa que tem sido penosa por milênios.

No entanto, é necessário que novas alternativas de controle químico, além de obviamente proporcionarem controle efetivo de plantas daninhas, ofereçam outros pontos positivos, tais como a minimização do potencial de impacto ambiental e a maximização da seletividade para a cultura de interesse (JUNIOR, 2002).

2.2 DICLOSULAM

O diclosulam (N-[2,6-diclorofenil]-5-etoxi-7-fluoro(1,2,4)triazolo-[1,5c]- pirimidina-2-sulfonamida) (Figura 1) é um herbicida do grupo químico triazol pirimidina sulfonanilidas indicado para o controle de dicotiledôneas em pré-semeadura incorporada ou em pré-emergência na cultura da soja, apresentado na formulação de grânulo dispersivo em água e com classe toxicologia II, altamente tóxico. Este composto atua inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS) a qual é essencial para a síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (RODRIGUES e ALMEIDA, 1998).

Figura 1- Fórmula estrutural do diclosulam.



Fonte: ANVISA (2014).

O diclosulam é absorvido principalmente pelas raízes e caules, possui ação sistêmica e tem metabolismo rápido inibindo a acetolactato sintase (ALS), essa enzima está localizada no cloroplasto, onde catalisa a condensação de duas moléculas de piruvato em acetolactato, o

qual é convertido em valina e leucina. Uma reação similar, que produz a acetoidroxibutirato, responsável pela biossíntese da isoleucina, também é catalisada pela ALS, quando o α -etobutirato e o piruvato são usados como substrato (SINGH e SHANER, 1995).

O diclosulam e seus metabólitos apresentam valores de partição (K_d) baixos, o que demonstra potencial de movimentação vertical, facilitada pela solubilidade em água (124 ppm a pH 7,0 e 117 ppm a pH 5,0), constante de ionização ácido (pK_a) de 4,09 e coeficiente octanol/água (K_{ow}) de 1,42 (YODER, 2000). O comportamento desse herbicida é fortemente influenciado pelos teores de umidade e matéria orgânica do solo; a degradação é microbiana, e a fotodegradação e volatilização são insignificantes (RODRIGUES, 2010). A meia-vida do diclosulam é de 60 a 90 dias, dependendo das condições de clima e solo. A recomendação é de que logo após a colheita da soja, em áreas tratadas com diclosulam, não sejam semeadas culturas como milho, girassol, sorgo e brássicas (RODRIGUES e ALMEIDA, 1998). De acordo com Yoder, (2000), esse herbicida, aplicado na soja, pode causar injúrias em culturas subsequentes, como o milho.

2.3 FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação consiste na capacidade que algumas espécies vegetais possuem de acelerar a retirada de compostos tóxicos, como herbicidas, do ambiente (solo e água), promovendo sua descontaminação (CUNNINGHAM, 1996).

A fitorremediação pode ser usada em solos contaminados com substâncias orgânicas ou inorgânicas, como metais pesados, elementos contaminantes, hidrocarbonetos de petróleo, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria (CUNNINGHAM, 1996). Contudo, é mais difícil trabalhar com contaminantes orgânicos, em razão da diversidade molecular, da complexidade de análise e das constantes transformações a que estão sujeitos. Os metais pesados, por exemplo, são mais facilmente quantificados e raramente formam metabólitos intermediários no solo, como ocorre na biodegradação dos contaminantes orgânicos (CUNNINGHAM, 1996). Assim, as pesquisas com compostos orgânicos contaminantes de solo exigem técnicas especializadas e de custo elevado, envolvendo o uso de elementos marcados e sofisticada instrumentação analítica (PIRES, 2003).

Andrade ressalta ainda que o uso da fitorremediação apresenta restrições, desvantagens e riscos que devem ser levados em conta quanto à sua aplicação. Se o baixo custo é uma vantagem, o tempo para que se observem resultados pode ser uma desvantagem,

pois depende do ciclo de vida da planta e pode apresentar-se longo para as perspectivas envolvidas. Além disso, a concentração do poluente e a presença de outras toxinas devem estar dentro dos limites de tolerância da planta. Outra limitação, é que as plantas, usadas com o propósito de minimizar a poluição ambiental, podem entrar na cadeia alimentar de outros seres vivos, incorporando essas cadeias contaminantes cuja bioacumulação pode resultar em toxicidade e prejuízos ambientais (ANDRADE et al., 2007).

A fitorremediação pode ser dividida em algumas classes que, segundo Souza, (2014) são classificadas da seguinte maneira:

- fitoestabilização – o contaminante é complexado nos tecidos radiculares diminuindo a sua movimentação no solo,
- fitoestimulação – o contaminante, geralmente orgânico, é degradado por microorganismos que se desenvolvem na região da rizosfera devido às condições particulares existentes,
- fitovolatilização – o contaminante, uma vez absorvido, tem seu estado físico alterado para uma forma gasosa e assim é volatilizado, podendo ocorrer tanto para contaminantes orgânicos como inorgânicos,
- fitodegradação – processo semelhante à fitoestimulação, mas que ocorre em partes aéreas,
- fitoextração – o contaminante é absorvido e a maior parte é transportada para a parte aérea, o que possibilita a colheita e remoção efetiva do contaminante do meio ambiente.

A escolha e aplicação do método devem levar em conta o tipo de contaminante bem como o meio em que esse está presente.

Uma das características necessárias à espécie remediadora é ser tolerante a altos níveis do contaminante no ambiente a ser remediado. Essa tolerância das espécies vegetais 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, com transformação em compostos menos tóxicos, combinados e/ou ligados nos tecidos das plantas (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000).

Uma boa fitorremediadora deve ser capaz de crescer na presença do contaminante e sobreviver sem diminuir sua taxa de crescimento, apesar da captura do contaminante e do seu acúmulo. As espécies apresentam capacidade de acumulação diversificada ou específica; ou seja, de muitos ou poucos contaminantes. Por essa razão, é importante estudar diferentes

espécies, analisar a acumulação e a tolerância para determinado composto contaminante (VASCONCELOS, 2012).

Quando comparada com técnicas tradicionais de descontaminação como bombeamento e tratamento, ou remoção física da camada contaminada, a fitorremediação tem sido considerada vantajosa, principalmente por sua eficiência e baixo custo (CUNNINGHAM, 1996).

2.4 FITORREMEIADORAS

2.4.1 *Dolichos lablab*

A planta *D. lablab* L., é uma leguminosa da família Fabaceae de origem africana, cultivada amplamente em regiões pan-tropicais. É uma planta robusta que se desenvolve bem tanto em solos arenosos como em solos argilosos com pH variando entre 4,5 – 7,5. Existem relatos científicos que *D. lablab* L. é uma planta relativamente tolerante a seca e estresse salino, comparada a outras leguminosas (SOUZA, 2014).

Por ser uma leguminosa tropical geralmente utilizada como planta de cobertura de solo, também chamada de adubo verde, possui diversas características agronômicas favoráveis, como crescimento rápido sistema radicular denso e profundo, grande produção de biomassa e pouca exigência de qualidade do solo, sendo uma potencial candidata para aplicação na fitorremediação (PROCÓPIO, 2004).

2.4.2 *Canavalia ensiformis*

A espécie *C. ensiformis*, conhecida popularmente como feijão-de-porco, é uma leguminosa de origem americana. É uma planta tropical, da família Fabaceae, amplamente cultivada nos países tropicais como cobertura verde (CASTRO, 2010).

A planta, ereta e anual, desenvolve-se bem em solos ácidos. Suas folhas grandes fornecem boa cobertura. Suas sementes, brancas e graúdas, embora não sejam indicadas para consumo humano, pois contêm fatores antinutricionais, apresentam altos teores de proteína de excelente qualidade, podendo ser comestível: suas folhas são usadas como verdura, e as sementes são cozidas como feijão comum, embora tenha que passar por tratamento prévio para eliminar as várias toxinas da planta. A planta tem também um neurotóxico, porém é

destruído por ingestão. Do feijão-de-porco têm sido extraídos os princípios ativos que agem como inseticidas, herbicidas - a planta apresenta alelopatia - e fungicidas. Recentemente, a Radiobrás anunciou a descoberta, nessa planta, de uma proteína semelhante à insulina (MAZZUCO, 2008).

Seu tamanho chega de 80 a 100 centímetros de altura, apresentando folhas com três folíolos grandes, flores de cores brancas, roxas ou lilases e vagens grandes, retas ou levemente curvas, estas contêm várias sementes grandes de cor branca ou rosada. Nas raízes das plantas, formam-se muitas nodosidades que são facilmente retiradas com a mão, sem que elas se rompam. Essas nodosidades, denominadas nódulos, são formadas em resposta à penetração de uma bactéria do gênero *Rhizobium*, muito útil às plantas. Isto porque, esse tecido formado tem a capacidade de fixar o nitrogênio do ar e depois fornecê-lo à planta. Em troca, a bactéria é beneficiada pela planta, pois irá fornecer todos os nutrientes necessários a sua sobrevivência e reprodução. Essa interação é denominada simbiose. Quando as plantas atingem estágio de formação de vagem, são cortadas e incorporadas ou não ao solo, como adubo verde, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo (MAZZUCO, 2008).

O feijão-de-porco desenvolve-se e produz bem em regiões de clima quente a ameno, solos bem drenados e com boa disponibilidade de água durante o ano, embora apresente boa rusticidade. A propagação é por sementes. O ciclo da planta, da semeadura até a colheita, é aproximadamente de 180 dias (MAZZUCO, 2008).

2.4.3 *Calopogonium mucunoides*

O calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) é uma Fabacea nativa da América do Sul. São plantas herbáceas, com hábito de crescimento rasteiro, trepadeira com longos estolões, densamente cobertas com pelos de coloração ferruginosa. Torna-se perene em condições favoráveis, estabelecendo-se com facilidade a partir de sementes gerando densa manta verde com 0,50 m a 1,0 m de altura, porém não persistindo após meses de seca. Adaptada a condições tropicais quentes e úmidas, porém é sensível a geadas, podendo morrer também sob condições secas, mas apresentando elevada tolerância a inundações. Sua palatabilidade é baixa quando jovem, mas após o florescimento torna-se mais palatável (DEVIDE, 2011).

Sua compatibilidade com gramíneas é considerada excelente, crescendo bem com várias espécies delas, desta forma os bovinos preferem se alimentar das gramíneas em consórcio com o calopogônio no período seco, podendo ser oferecido como feno (VASCONCELOS, 2015).

O calopogônio tolera solos de baixa fertilidade natural e ácidos com pH de 4,5 a 5,0. Apesar de resistir ao alagamento temporário, não se adapta aos solos mal drenados, podendo ser cultivado a partir do nível do mar até em altitude de 2.000 mm. O calopogônio possui um sistema radicular muito vigoroso e profundo e compete por água e nutrientes com as culturas consorciadas. O espaçamento normalmente recomendado é de 0,5 m entre linhas e com 30 a 35 sementes por metro no sulco.

Muito utilizada como adubo verde ou como planta forrageira em consorciação em pastagens, que apresenta grande produção de biomassa (VASCONCELOS, 2015).

2.5 *Helianthus annuus* L.

O girassol (*Helianthus annuus*) é uma oleaginosa cultivada na Argentina, nos Estados Unidos e em alguns países da África, devido ao alto valor nutritivo, sendo de grande utilidade para alimentação humana (grãos, óleo) e animal (forragem, grãos). A planta constitui-se em importante opção para a produção de biocombustíveis e isso possibilitou que a cultura apresentasse valor econômico expressivo, ganhando significativa apreciação no cerrado brasileiro (DAN, 2012).

O girassol é uma dicotiledônea anual, pertencente à ordem Asterales e família Asteraceae. O gênero deriva do grego helios, que significa sol, e de anthus, que significa flor, ou "flor do sol", que gira seguindo o movimento do sol. É um gênero complexo, compreendendo 49 espécies e 19 subespécies, sendo 12 espécies anuais e 37 perenes (GAZZOLA, 2012).

O sistema radicular é pivotante, crescendo mais rapidamente que a parte aérea da planta, no começo do desenvolvimento, sendo formado por um eixo principal e raízes secundárias abundantes, capazes de explorar um grande volume de solo e seus recursos hídricos. No estágio cotiledonar já atinge de quatro a oito centímetros de comprimento, com seis a dez raízes secundárias. Durante a fase de 4 a 5 pares de folhas pode chegar a uma profundidade de 50 a 70 centímetros, atingindo o máximo do crescimento na floração, quando atinge até quatro metros de profundidade em solos arenosos (ROSSI, 1998).

O girassol cultivado é uma planta de haste única, não ramificada, ereta, pubescente e áspera, vigorosa, cilíndrica e com interior maciço. Em períodos de frio podem aparecer ramificações laterais que terminam em inflorescências, mas essa é uma característica indesejável para a produção de óleo ou sementes. É da cor verde até o final do florescimento, quando passa a coloração amarelada, e pardacento no momento da colheita. Sua altura nas

variedades para produção de óleo varia de 60 a 220 cm, e seu diâmetro de 1,8 e 5 cm, sendo a porção mais próxima à superfície do solo mais espessa e com pouca ou nenhuma pilosidade. (GAZZOLA, 2012)

Cronologicamente, a variabilidade genotípica do girassol quanto à duração total do seu ciclo é de 65 a 165 dias. A escala fenológica, descrita por (GAZZOLA, 2012), divide o desenvolvimento do girassol em fases vegetativa (V) e reprodutiva (R). A fase vegetativa se inicia pela emergência da plântula e, posteriormente, é subdividida em uma série de estádios. A fase reprodutiva apresenta nove estádios e é iniciada com o surgimento do botão floral até a maturação fisiológica (GAZZOLA, 2012).

Baseado na rusticidade e adaptabilidade ao inverno das Regiões Centro-Oeste, Sudeste e parte do Sul do Brasil, o girassol apresenta maior expressão de cultivo na segunda safra, também conhecida como “safrinha”, principalmente em sucessão à cultura da soja (DAN, 2012).

Optar pelo girassol nos sistemas agrícolas tem por objetivo maximizar a boa capacidade da planta quanto ao aproveitamento dos resíduos das adubações de cultivos anteriores, aumentando a capacidade de utilização do solo e das máquinas, resultando em maior rentabilidade da propriedade agrícola. Em estudos realizados visando detectar resultados em função de rotação de culturas, verificou-se que o girassol aumenta a produção quando em rotação com leguminosas e diminui quando semeado sem rotação de culturas (GAZZOLA, 2012).

As espécies cultivadas em sucessão ao girassol beneficiam-se, principalmente, da melhoria das condições físicas do solo na camada superficial (0 a 20 cm), resultante do grande desenvolvimento do sistema radicular do girassol nessa camada (LEITE et al., 2005).

A fertilidade do solo também é afetada no plantio de girassol, pois estas plantas fazem reciclagem de nutrientes e seu sistema radicular profundo alcança nutrientes dificilmente alcançados por outras culturas.

Porém, cuidados devem ser tomados ao se adotar o sistema de rotação de culturas, pois cultivos no qual são aplicados herbicidas que deixam resíduos podem causar distúrbios na planta de girassol. Especial atenção deve ser dada à palhada deixada pela cultura antecessora ao girassol para que ela não dificulte a deposição de sementes e a emergência das plântulas. (GAZZOLA, 2012).

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação entre os meses de abril a novembro de 2016 no Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista. Foram avaliadas três espécies de adubos verdes quanto à tolerância ao herbicida diclosulam. As espécies avaliadas foram *Dolichos lablab*, *Canavalia ensiformis*, e *Calopogonium muconoides*. O delineamento foi em blocos ao acaso, com cinco repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 3 x 4, sendo três espécies fitorremediadoras e quatro doses de diclosulam (0; 15; 30 e 60 g .ha⁻¹).

Como substrato para o crescimento das plantas, utilizou-se solo coletado de uma área previamente corrigida e peneirado em malha de quatro milímetros. Uma amostra foi coletada e enviada para caracterização química no Laboratório de Análises de Solos do IFMG-SJE (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química da camada arável (0 - 20cm) do solo utilizado no experimento.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO	P-rem	
	--mg.dm ⁻³ --		----- cmol _c .dm ⁻³ -----								----- % -----		----- dag.kg ⁻¹ -----	
5,21	49,8	130	2,5	0,3	0,05	1,49	3,13	3,18	4,62	67,7	1,6	2,03	30,6	

A unidade experimental foi constituída por um vaso de polietileno, contendo 25 dm³ de solo, totalizando 60 ensaios. Após o enchimento e umedecimento dos vasos, foi aplicado em pré-emergência o herbicida diclosulam, nas doses determinadas utilizando um pulverizador costal elétrico provido de barra de pulverização contendo um bico tipo leque Teejet 110.02 e com volume de aplicação de 120 L. ha⁻¹

Todas as espécies foram semeadas três dias após a aplicação do herbicida, sendo utilizadas seis sementes, após a germinação foram desbastadas deixando quatro plantas por vaso das espécies de *Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab* e *Calopogonium muconoides* respectivamente. A escolha das espécies foi baseada em experimentos preliminares de tolerância ao herbicida (MONQUERO, 2013).

A fitotoxicidade do herbicida nas plantas fitorremediadoras foi avaliada aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura (DAS). Para avaliação da fitotoxicidade do herbicida, foram atribuídas notas de 0 a 100, em que 0 representou ausência de sintomas e 100 a morte da planta (ALAM, 1974) (Tabela 2). Aos 60 DAS também foi avaliada a massa de matéria fresca e seca da parte aérea das espécies vegetais (MFPA e MSPA). Para determinar a massa

de matéria seca da parte aérea das espécies vegetais, o material foi seco em estufa com circulação de ar forçada (60 ± 2 °C) por 72 horas.

Tabela 2 - Avaliação de fitotoxicidade de acordo com a escala de Alam (1974).

%	SINTOMAS	DESCRIÇÃO DOS SINTOMAS
0	Nenhum	Nenhum sintoma visível
3	Duvidoso	Parece apresentar algum sintoma
5	Leve	Sintoma leve com pequeno amarelecimento
10	Definido	Sintoma claro com amarelecimento visível
15	Definido sem dano econômico	Amarelecimento, clorose, engruvinhamento
20	Aceitável	Amarelecimento, clorose mais intensa, engruvinhamento
30	Limite aceitável	Aceitável comercialmente sem dano econômico
40	Severo	Clorose, engruvinhamento, necrose, queima, redução do porte
60	Muito severo	Redução de stand com 25% de morte
80	Extremamente severo	75% de morte de plantas
100	Total destruição	100% de morte plantas

Foram necessárias capinas semanalmente, contudo, as daninhas foram apenas arrancadas dos vasos e devolvidas à superfície dos mesmos com o intuito de não interferir nas doses dos herbicidas contidas no solo.

Após a coleta das plantas fitorremediadoras foram coletadas amostras de solo de cada unidade experimental (vaso) e a partir da média dos valores obtidos (Tabela 3) o solo foi devidamente adubado segundo as exigências para a cultura do girassol (RIBEIRO, 1999).

Tabela 3 - Média da Composição química da camada arável (0 - 20cm) do solo contido nas unidades experimentais do experimento.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO	P-rem
	--mg.dm ⁻³ --		----- cmol _c .dm ⁻³ -----							---- % ----	----- dag.kg ⁻¹ ----		
5,80	32,37	71,5	2,8	0,7	0,004	3,53	3,71	3,72	7,23	51,23	0,1	2,03	36,37

Análise realizada pelo laboratório de análises químicas do IFMG-SJE.

A adubação foi realizada com 0,29 g.vaso⁻¹ de P₂O₅, 0,29g.vaso⁻¹ de K₂O e 0,19 g.vaso⁻¹ de (NH₄)₂SO₄. Logo após a adubação foram semeadas sementes de girassol, *H. annuus* L., (10 sementes por metro linear), espécie sensível ao diclosulam.

Foi avaliado o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) da espécie sensível com os dados referentes ao número de plântulas germinadas até os 20 DAS.

Aos 15,30 e 45 DAS do girassol foi avaliado os sintomas de toxicidade nas plantas. Para a avaliação da fitotoxicidade, foram atribuídas notas de 0 a 100, de acordo com os sintomas de intoxicação observados na parte aérea das plantas, em que 0 representava ausência de sintomas e 100 a morte da planta (ALAM, 1974). Aos 45 DAS foi avaliada a altura das plantas a biomassa fresca e seca da parte aérea. A altura das plantas foi medida do colo até o meristema apical. Para determinar a massa seca da parte aérea, o material colhido foi colocado em estufa com circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) por 72 horas.

Foram necessárias capinas semanalmente, contudo, as daninhas foram apenas arrancadas dos vasos e devolvidas à superfície dos mesmos com o intuito de não interferir nas doses dos herbicidas contidas no solo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos, quando significativas, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DAS LEGUMINOSAS

Não existe na literatura diversidade de trabalhos avaliando o crescimento de espécies fitorremediadoras para extração de diclosulam do solo. As espécies aqui estudadas foram selecionadas como potenciais fitorremediadoras segundo Monquero et al. (2013).

Não foi observado efeito de dose e efeito da interação entre dose e fitorremediadora sobre o acúmulo da MFPA e MSPA das fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 4). Portanto o acréscimo na dosagem de diclosulam não interferiu no crescimento das leguminosas.

Foi observado diferença no acúmulo da MFPA e MSPA entre espécies fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 4). Dentre as fitorremediadoras, a *Dolichos lablab* acumulou $84,67 \text{ g.planta}^{-1}$ de massa fresca aos 60 DAS. Essa produção foi 92,01% superior a *Calopogonium mucunoides* (Tabela 5). Essa diferença de produção pode estar relacionada à melhor adaptação da espécie as condições de cultivo em casa de vegetação e a capacidade de crescimento na presença de resíduos do diclosulam. Esse resultado demonstra também que o *Calopogonium mucunoides* foi afetado pela presença do herbicida.

Tabela 4. Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras do diclosulam.

FV	GL	QM	
		MFPAF	MSPAF
Bloco	4	343,1154 ^{ns}	30,3153 ^{ns}
Dose	3	320,3834 ^{ns}	11,8079 ^{ns}
Fito	2	30384,1679*	1240,8017*
Dose x Fito	6	122,0402 ^{ns}	5,8730 ^{ns}
Erro	44	480,1103	22,8061
Total	59		
CV (%)		47,53	53,68

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; MFPAF: Massa fresca parte aérea fitorremediadora; MSPAF: Massa seca da parte aérea das fitorremediadoras.

Tabela 5. Massa fresca e seca da parte aérea das espécies utilizadas para fitorremediação do diclosulam.

Fitorremediadora	MFPAF (g)	MSPAF (g)
<i>Dolichos lablab</i>	84,6720 a	16,7890 a
<i>Canavalia ensiformis</i>	46,9125 b	8,8625 b
<i>Calopogonium mucunoides</i>	6,7305 c	1,0360 c

MFPAF: Massa Fresca da parte aérea das fitorremediadoras; MSPAF: Massa Seca da parte aérea das fitorremediadoras. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Em trabalho realizado com fitorremediação de herbicida sulfetrazone Madalão (2013) observou que *C. ensiformis* e *D. lablab* também foram as espécies que mais se destacaram, em relação ao acúmulo de matéria seca. Resultados semelhantes também foram observados em experimento de fitorremediação de sulfetrazone, no qual o acúmulo de matéria seca da parte aérea das espécies *C. ensiformis* e *D. lablab* não foi influenciado pela ação do herbicida, comprovando a tolerância dessas espécies, característica altamente desejável para a fitorremediação (BELO, 2011).

Em estudo de seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de diclosulam, Monquero (2013) obteve as menores médias de acúmulo de matéria seca para a espécie *Calopogonium mucunoides* semelhante ao resultado obtido no presente trabalho. *Calopogonium mucunoides* é uma planta herbácea, com hábito de crescimento rasteiro. Produz ao redor de 5 toneladas de massa verde por hectare ao ano (SOUZA, 2000), produção baixa em relação a outras espécies de adubos verdes. No presente trabalho o *Calopogonium mucunoides* alcançou a produtividade de 0,7 toneladas por hectare, demonstrando o efeito do herbicida sobre a planta.

4.2 MATÉRIA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DO GIRASSOL

Não foi observado efeito de dose, fitorremediadora e da interação entre dose e fitorremediadora sobre o acúmulo da MFPA e MSPA do girassol ($p < 0,05$) (Tabela 6). Esse resultado demonstra que as espécies fitorremediadoras foram eficientes na extração de resíduos de diclosulam, não promovendo alterações no crescimento do girassol.

Tabela 6. Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.

FV	GL	QM	
		MFPAG	MSPAG
Bloco	4	1334,5806 ^{ns}	85,6048 ^{ns}
Dose	3	809,8071 ^{ns}	146,1192 ^{ns}
Fito	2	706,4262 ^{ns}	29,0092 ^{ns}
Dose x Fito	6	871,8065 ^{ns}	153,0782 ^{ns}
Erro	44	1003,9673	120,1537
Total	59		
CV (%)		32,03	57,58

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; MFPAG: Massa fresca parte aérea do girassol; MSPAF: Massa Seca da parte aérea do girassol.

Monquero (2013) avaliou que as parcelas previamente cultivadas com *C. ensiformis*, apresentaram maior biomassa do girassol, diferindo do encontrado no presente trabalho, no qual não foi observada diferença no acúmulo de massa pelas plantas de girassol utilizando *D. lablab*, *C. ensiformis*, e *C. muconoides*.

BRIGHENTI (2002) estudou o efeito residual dos herbicidas imazaquin, imazethapyr e diclosulam aplicados na cultura da soja sobre o girassol em sucessão e observou que a aplicação do diclosulam causou redução total do estande da cultura. A lesão causada pelos herbicidas ao girassol, observada na produtividade da cultura, foi maior em ordem decrescente de fitotoxicidade: diclosulam > imazaquin > imazethapyr. Com isso, confirma-se a eficiência das leguminosas estudadas no presente trabalho na fitorremediação do diclosulam.

DAN (2012) estudou a atividade residual de herbicidas sobre o girassol e observou que o herbicida diclosulam promoveu reduções significativas (42,16%) no acúmulo de massa da matéria seca da parte aérea das plantas de girassol.

4.3 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO DO GIRASSOL (IVG)

Não foi observada influência das doses do herbicida, fitorremediadoras e interação entre dose e fitorremediadora no índice de velocidade de germinação do girassol ($p < 0,05$) (Tabela 7). Observou-se uma tendência à redução no IVG das plantas submetidas à aplicação de doses crescentes do diclosulam. Portanto, o solo não apresentou resíduos de diclosulam que alterasse a velocidade de germinação das sementes do girassol, denotando mais uma vez a eficiências das fitorremediadoras para extração do herbicida.

Não foram encontrados na literatura trabalhos avaliando o IVG em sementes de girassol cultivadas em sucessão de plantas fitorremediadoras.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.

FV	GL	QM
		IVG
Bloco	4	1104,1957 ^{ns}
Dose	3	642,5296 ^{ns}
Fito	2	406,6694 ^{ns}
Dose x Fito	6	477,6141 ^{ns}
Erro	44	556,6200
Total	59	
CV (%)		39,25

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F. IVG: Índice de velocidade de germinação.

4.4 ALTURA DAS PLANTAS DE GIRASSOL

Houve efeito de dose e fitorremediadora na altura das plantas de girassol ($p < 0,05$) (Tabela 8). Nas doses (15,30 e 60 g.ha⁻¹) ocorreram as maiores alturas em relação à testemunha (dose 0 g.ha⁻¹), (Tabela 9). Esse fato demonstra a capacidade de remediar do resíduo pelas fitorremediadoras, principalmente do *Calopogonium muconoides* que apresentou menor crescimento em relação às demais fitorremediadoras (Tabela 5) e proporcionou condições de solo para que o girassol apresentasse maior altura (Tabela 10).

Brighenti (2002) utilizou em seu experimento o diclosulam na dosagem de 40 g.ha⁻¹ e obteve redução total no estande de plantas de girassol. Este resultado demonstra que as leguminosas analisadas neste trabalho foram eficientes na extração do diclosulam.

Dan (2012) observou evolução dos sintomas, com destaque para o herbicida diclosulam. Nesse tratamento, as plantas apresentaram encarquilhamento das folhas jovens, necrose nas folhas mais velhas, seguido de supressão no crescimento das plantas, sintomas típicos de herbicidas inibidores da enzima ALS.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância da altura avaliada na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.

FV	GL	QM
		ALTG
Bloco	4	153,2678 ^{ns}
Dose	3	668,5871 [*]
Fito	2	667,6159 [*]
Dose x Fito	6	215,0563 ^{ns}
Erro	44	127,7458
Total	59	
CV (%)		16,02

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; ALTG: Altura da parte aérea do girassol.

Tabela 9 - Altura das plantas de girassol cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicidas diclosulam e em sucessão a espécies fitorremediadoras.

Doses (g.ha ⁻¹)	Altura (cm)
15	78,5777 a
60	72,2055 ab
30	68,8972 ab
0	62,5625 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Tabela 10 - Altura da parte aérea de girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.

Fitorremediadora	Altura (cm)
<i>Calopogonium mucunoides</i>	76,4812 a
<i>Canavalia ensiformis</i>	70,2635 ab
<i>Dolichos lablab</i>	64,9375 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

4.5 ÍNDICE DE FITOTOXICIDADE AVALIADO PARA AS FITORREMEIADORAS E O GIRASSOL

Houve efeito significativo das fitorremediadoras no índice de fitotoxicidade ($p < 0,05$) (Tabela 11). O índice de toxicidade de 14 % (Tabela 12), observado nas plantas de *C. mucunoides*, não foi suficiente para afetar o desenvolvimento das plantas de girassol (Tabela 6). Aos 15, 30 e 45 dias a maior tolerância para diclosulam foi verificada em *D. lablab* e *C. ensiformes* que não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram obtidos por Madalão (2013) em que as espécies *C. ensiformis* e *D. lablab* manifestaram os menores sintomas de fitotoxicidade ao herbicida sulfetrazone, sendo selecionadas com potencial para fitorremediação.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras e na cultura do girassol cultivado em sucessão as espécies fitorremediadoras.

FV	GL	QM	
		TOXICF (%)	TOXICG (%)
Bloco	4	731,1111 ^{ns}	898,6111 ^{ns}
Dose	3	373,8888 ^{ns}	717,0370 ^{ns}
Fito	2	3750,5555*	1342,2222*
Tempo	2	40,5555 ^{ns}	367,2222 ^{ns}
Dose x Fito	6	657,2222 ^{ns}	352,5925 ^{ns}
Dose x Tempo	6	76,1111 ^{ns}	28,7037 ^{ns}
Fito x Tempo	4	135,5555 ^{ns}	32,2222 ^{ns}
Dose x Fito x Tempo	12	44,4444 ^{ns}	49,2592 ^{ns}
Erro	140	309,9682 ^{ns}	348,6111 ^{ns}
Total	179		
CV (%)		348,25	26,26

TOXICF: Toxicidade do herbicida nas fitorremediadoras; TOXICG: Toxicidade dos herbicidas no girassol.

Tabela 12 - Porcentagem de fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes de diclosulam.

Fitorremediadora	Toxicidade (%)
<i>Calopogonium mucunoides</i>	14,1666 a
<i>Canavalia ensiformis</i>	1,0000 b
<i>Dolichos lablab</i>	0,0000 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Em geral, a toxicidade das plantas de girassol foi elevada (Tabela 13). O girassol cultivado em sucessão ao *Calopogônio mucunoides* apresentou o índice de 75 % de intoxicação, que representa 50 % de morte das plantas, semelhante ao resultado encontrado por Monquero (2013). Porém, as plantas que se estabeleceram não apresentaram diferenças nas variáveis de crescimento. A mesma situação foi observada para as demais fitorremediadoras.

Tabela 13 - Fitotoxicidade do diclosulam nas plantas de girassol em solo fitorremediado por diferentes leguminosas.

Fitorremediadora	Toxicidade (%)
<i>Calopogonium mucunoides</i>	75,0000 a
<i>Canavalia ensiformis</i>	72,0000 ab
<i>Dolichos lablab</i>	66,0000 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Naturalmente, torna-se difícil reunir todas as características desejáveis de um potencial fitorremediador em apenas uma espécie, contudo a espécie selecionada deve apresentar o maior número delas. Outro aspecto a ser observado é que, embora a maioria dos testes avalie plantas isoladas, várias espécies podem ser usadas em um mesmo local, ou ao mesmo tempo ou subsequentemente, para remover mais de um contaminante de forma eficiente.

5 CONCLUSÃO

As três espécies de adubos verdes estudadas no presente trabalho são eficientes na fitorremediação de solos contaminados com diclosulam.

Canavalia ensiformes e *Dolichos lablab* permitiram maior acúmulo de matéria seca e menor fitotoxicidade nas plantas de girassol cultivadas em sucessão.

A espécie *Calopogonio mucunoides* apesar de apresentar o maior índice de fitotoxicidade não diferiu das demais fitorremediadoras na capacidade de extração do diclosulam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo.. In: NOVAIS, R. F.; H., A. V. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa-MG: [s.n.], 2000. p. 299-352.
- ALAM, A. L. D. M.-. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación em ensayos de control de malezas. I. ed. [S.l.]: [s.n.], v. I, 1974. p. 35-38.
- ALMEIDA, K.; CAMARA, L. S. A. Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. **Rev. Bras. de Agroecologia**, p. 55-62, 2011.
- BELO, A. F. . E. A. Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 4, p. 821-828, Oct./Dec 2011.
- BRIGHENTI, A. M. . E. A. Análise de crescimento de biótipos de amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*) resistentes e suscetível aos herbicidas inibidores da ALS. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 19, n. 1, p. 51-59, 2001.
- BRIGHENTI, A. M. . E. A. Persistência e fitotoxicidade de herbicidas aplicados na soja sobre o girassol em sucessão. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v. 37, n. 4, p. 559-565, abr. 2002, Brasília - DF, v. 37, n. 4, p. 559-565, Abr 2002.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2°, p. 455-462, 2008.
- CASTRO, D. M. . E. A. **ANÁLISE DA ANATOMIA DE FOLIÓLULOS DE SOL E DE SOMBRA DE CANAVIALENSIFORMIS (L.) D.C.** UFLA. Lavras-MG. 2010.
- CHRISTOFFOLETI, P. J. ANÁLISE COMPARATIVA DO CRESCIMENTO DE BIÓTIPOS DE PICÃO-PRETO (*Bidens pilosa*) RESISTENTE E SUSCETÍVEL AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ALS. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 19, n. 1, p. 75-83, 2001.
- CUNNINGHAM, S. D. . E. A. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. [S.l.]: **Adv. Agron**, v. 56, 1996. p. 55-114.
- DAN, H. A. . E. A. Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1929-1935, nov 2012. ISSN 103-8478.
- DEUBER, R. **Ciência das Plantas Daninhas: Fundamentos**. FUNEP. Jaboticaba. 1992.
- DEVIDE, A. C. P. E. A. **Desenvolvimento do Guanandi (*Calophyllum brasiliense*) em dois ambientes visando à conversão agroflorestal**. . Embrapa Amazônia Oriental : UFRA : CEPLAC:EMATER : ICRAF. Belém, PA, p. 7. 2011.

EMBRAPA. **Embrapa Soja**, 2003. Disponível em:

<<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/control.htm>>. Acesso em: 22 Outubro 2016.

EMBRAPA. Embrapa Soja. **EMBRAPA**, Londrina, 2013. ISSN 2176/2902. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/975595/tecnologias-de-producao-de-soja---regiao-central-do-brasil-2014>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2016. Disponível em:

<Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa>. Acesso em: 15 nov. 2016.

FERREIRA, D. F. Programa SISVAR: Sistema de Análise de Variância. Versão 4.6 (Build 6.0). Lavras: **DEX/UFLA**. 2003.]

FIDELIS, R. R. et al. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja., Uberlândia. 1º ed. Uberlândia: Bioscience Journal, v. 19, 2003. p. 23-31.

FRANCHINI, J. C. et al. **Importância da rotação de culturas para produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: [s.n.], 2011. ISBN 1516-781X. Disponível em:

<<http://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-AGRONOMIA/Tese%20Mirrianny%20Elena%20de%20Freitas.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

GAZZOLA, A. . A. **A CULTURA DO GIRASSOL**. Piracicaba - SP, p. 63. 2012.

GUERRA, N. Seleção de espécies bioindicadoras para os herbicidas trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium. **Rev. Bras. Herb**, Maringá-PR, v. X, n. 1, p. 37-48, Janeiro/Abril 2011.

INOUE, M. H. E. A. Seleção de bioindicadores para herbicidas residuais aplicados em pré emergência. **Revista de ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta-MT, v. X, p. 173-183, 2012.

JUNIOR, R. S. O. . E. A. CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E SELETIVIDADE DE DICLOSULAM APLICADO EM PRÉ-EMERGÊNCIA NA CULTURA DA SOJA. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Maringá-SP, v. 3, n. 1, p. 69-74, 2002.

LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 641p.

MADALÃO, J. C. . E. A. Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone. **Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 111-121, jan/fev 2013.

MAPA. **Ministério da Agricultura**, 2016. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>>. Acesso em: 22 Outubro 2016.

MAZZUCO, K. T. M. **USO DA *Canavalia ensiformis* COMO FITORREMEDIADOR DE SOLOS CONTAMINADOS POR CHUMBO**. UFSC. Florianópolis, p. 154. 2008.

MONQUERO, P. A. E. A. SELEÇÃO DE ESPÉCIES DE ADUBOS VERDES VISANDO À FITORREMEDIAÇÃO DE DICLOSULAM. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. XXXI, n. 1°, p. 127-135, 2013.

PIRES, F. R. E. A. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta daninha**, Viçosa, v. XXI, n. 2, p. 335-341, Maio 2003. ISSN 0100-8358/1806-9681.

PROCÓPIO, S. O. E. A. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. XXII, p. 315-322, 2004.

RIBEIRO, A. C. . G. P. T. G. . V. R. H. **5° Aproximação**. Viçosa - MG: [s.n.], 1999.

RIBEIRO, A. C. **Uso de Gesso Agrícola**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertil. [S.l.]: [s.n.].

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. D. **Guia de herbicidas**. 4°. ed. Londrina: [s.n.], 1998.

RODRIGUES, N. R. E. A. BIODEGRADAÇÃO DO DICLOSULAM POR BACTÉRIAS ISOLADAS DE SOLOS CULTIVADOS COM SOJA. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. XXVIII, p. 393-400, 2010.

ROSSI, R.O. Girassol. Curitiba: Tecnagro. Curitiba, 1998. 333p.

SANTOS, J. B. E. A. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. XXII, n. 2°, p. 323-330, 2004.

SILVA, A. F. Período anterior à interferência na cultura da soja-rr em condições de baixa média e alta infestação. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. XXVII, p. 57-66, 2009.

SINGH, G. K.; SHANER, D. L. Biosynthesis of branched chain amino acids: From test tube to field. **Plant Cel**, v. 7, p. 935-944, 1995.

SOUZA, A. P. S. . D. Germinação de sementes de Calopogônio (Calopogonium mucunoides). **Pasturas Tropicales**, Belém, PA, v. 20, n. 3, p. 26-30, 2000.

SOUZA, L. A. **Caracterização de respostas fisiológicas e bioquímicas de Dolichos lablab ao cádmio**. Campinas-SP. 2014.

VARGAS, L. . R. E. S. **Manejo e controle de plantas daninhas na cultura da soja**. EMBRAPA. Passo Fundo, p. 23. 2006. (1518/6512).

VARGAS, L.; ROMAM, E. S. Manejo e controle de plantas daninhas na cultura de soja. **MAPA**, 2006. ISSN 1518-6512. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do62.htm>. Acesso em: 22 Outubro 2016.

VASCONCELOS, M. C. A. D. **AVALIAÇÃO DOS INDICADORES QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO DE CERRADO DEGRADADO APÓS O CULTIVO DE LEGUMINOSAS**. PUC. Goiânia, p. 54. 2015.

VASCONCELOS, M. C. E. A. Fitorremediação: Uma proposta de. **Estud. Biol.**, Curitiba, PR, p. 261-267, Julho 2012.

VIDAL, R. A. . E. A. aNÁLISE DE CRESCIMENTO DE BIÓTIPOS DE LEITEIRA (Euphorbia heterophylla) RESISTENTES E SUSCETÍVEL AOS INIBIDORES DA ALS. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 18, n. 3, p. 427-433, 2000.

YODER, R. N. E. A. Aerobic metabolism of diclosulam on U.S. and South American soils. **J. Agric. Food Chem**, v. 48, n. 1, p. 4335-4340, 2000.