

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
LANNA SHANYELLE MOREIRA ROCHA**

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM DICLOSULAM
UTILIZANDO *Mucuna aterrima*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis***

SÃO JOÃO EVANGELISTA

2016

LANNA SHANYELLE MOREIRA ROCHA

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM DICLOSULAM
UTILIZANDO *Mucuna aterrima*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis***

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

Coorientador: Dr. José Roberto de Paula.

SÃO JOÃO EVANGELISTA

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

R673f Rocha, Lanna Shanyelle Moreira.
2016

Fitorremediação de solo contaminado com Diclosulam utilizando Mucuna Aterrima, Crotalaria Juncea, Crotalaria Spectabilis / Lanna Shanyelle Moreira Rocha. – 2016.

32f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2016.

Orientador: Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho.

Coorientador: Dr. José Roberto de Paula.

1. Fitorremediação. 2. Diclosulam. 3. Adubos Verdes. I. Rocha, Lanna Shanyelle Moreira. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 631.4

Elaborada pela Biblioteca Professor Pedro Valério

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
Campus São João Evangelista

Bibliotecária Responsável: Rejane Valéria Santos – CRB-6/2907

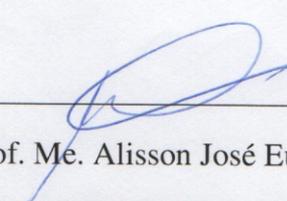
LANNA SHANYELLE MOREIRA ROCHA

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM DICLOSULAM
UTILIZANDO *Mucuna aterrima*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis***

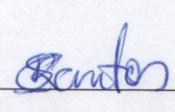
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em 13/12/2016

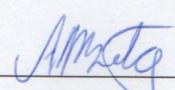
BANCA EXAMINADORA


Orientador Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho

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


Prof. Dr Rafael Carlos dos Santos

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


Mestrando Ari Medeiros Braga Neto

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe, que sempre me apoiou nos meus estudos.

À minha avó, que para sempre amarei.

Ao meu noivo Thiago, que foi essencial nesse momento.

E todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram com a minha formação.

DEDICO.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre presente iluminando meu caminho, guiando minhas escolhas e me dando forças para superar as dificuldades.

À minha mãe Vera Maria Moreira pela confiança e amor em mim depositados.

À minha querida avó Maria das Dores Moreira Soares, que já não está mais entre nós, mas que amo e sempre amarei infinitamente enquanto eu viver.

Ao meu noivo Thiago Moreira Silva, que foi uma das pessoas mais importantes nessa jornada.

Ao meu orientador Professor Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho pela paciência para com a minha pessoa durante a elaboração deste trabalho.

Muito obrigada a todos que, de alguma forma, contribuíram com a minha formação.

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. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da fitorremediação por *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* e *Mucuna aterrima* em solo contaminado com o herbicida diclosulam nas condições climáticas de São João Evangelista – MG. Foram avaliadas, em casa de vegetação, quatro doses do herbicida diclosulam (0, 15, 30 e 60 kg.ha⁻¹) em pré-emergência dos adubos verdes *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* e *Mucuna aterrima* em esquema fatorial 4 x 3 e cinco repetições. A parte aérea dessas plantas foi coletada após 60 dias da emergência, sendo semeado em seguida *H. annuus* como bioindicadora para resíduos do herbicida diclosulam. Os resultados evidenciaram que todas as fitorremediadoras demonstraram a mesma capacidade de fitorremediar diferentes dosagens do herbicida diclosulam, sendo que a *Crotalaria juncea* apresentou o maior acúmulo de MFPA dentre as fitorremediadoras e a *Mucuna aterrima* apresentou maior acúmulo de MFPA quando submetida ao dobro da dose. Todas as fitorremediadoras estudadas são promissoras em diminuir o efeito fitotóxico do diclosulam em culturas agrícolas sensíveis, porém, a *M. aterrima* foi a mais tolerante.

Palavras – chave: diclosulam; fitorremediação; adubos verdes.

ABSTRACT

Diclosulam herbicide tolerant green manure species may be used in crop rotation to decrease the subsequent phytotoxic effect of that herbicide on sensitive plants, such as sunflower. This study aimed to evaluate the efficiency of phytoremediation by *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* and *Mucuna aterrima* in soil contaminated with the herbicide diclosulam in the climatic conditions of. Four doses of diclosulam herbicide (0, 15, 30 and 60 kg.ha⁻¹) were evaluated in a greenhouse, in the pre-emergence of the green manures *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* and *Mucuna aterrima* and in factorial scheme 4 x 3 and five Repetitions. The aerial part of these plants was collected after 60 days of emergence, and *H. annuus* was then seeded as a bioindicator for residues of the herbicide diclosulam. The results showed that all phytoremediators showed the same capacity of phytoremediation of different dosages of the herbicide diclosulam, with *Crotalaria juncea* presenting the highest accumulation of MFPA among the phytoremediation agents and *Mucuna aterrima* presented a higher accumulation of MFPA when submitted to twice the dose. All the phytoremediate studied are promising to decrease the phytotoxic effect of diclosulam in sensitive agricultural crops, but *M. aterrima* was the most tolerant.

Key - words: diclosulam; phytoremediation; Green fertilizers.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química da camada arável (0 - 20cm) do solo utilizado no experimento.	18
Tabela 2: Avaliação de fitotoxicidade de acordo com a escala de Alam (1974).	19
Tabela 3: Média da Composição química da camada arável (0 - 20cm) do solo contido nas unidades amostrais do experimento.	19
Tabela 4: Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras do diclosulam.	21
Tabela 5: Massa fresca da parte aérea de espécies utilizadas para fitorremediação do diclosulam.	21
Tabela 6: Acumulo de massa fresca da parte aérea da fitorremediadora <i>Mucuna aterrima</i> cultivada em solo tratado com herbicida diclosulam.	23
Tabela 7: Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.	23
Tabela 8: Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.	24
Tabela 9: Índice de velocidade de germinação de girassol cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicidas diclosulam e em sucessão a espécies fitorremediadoras.	24
Tabela 10: Resumo da análise de variância da altura avaliado na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.	25
Tabela 11: Altura do girassol cultivado em solo tratado em sucessão a espécies fitorremediadoras com doses crescentes do herbicidas diclosulam.	25
Tabela 12: Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras e na cultura do girassol cultivado em sucessão as espécies fitorremediadoras.	26
Tabela 13: Porcentagem de fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes de diclosulam em três avaliações após o plantio.	26
Tabela 14: Porcentagem de fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes de diclosulam.	27
Tabela 15: Fitotoxicidade das plantas de girassol em solo fitorremediado por diferentes espécies em diferentes períodos.	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9..
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11..
2.1 DICLOSULAM.....	11
2.2 UTILIZAÇÃO DA FITORREMEDIAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO	12
2.2.1 Fitoextração.....	14
2.2.2 Fitoacumulação.....	15
2.2.3 Fitodegradação.....	15
2.2.4 Fitovolatilização.....	15
2.2.5 Fitoestabilização.....	15
2.3 MUCUNA PRETA (<i>Mucuna aterrima</i>) E CROTALARIAS (<i>Crotalaria juncea</i> ; <i>Crotalaria spectabilis</i>)	16
2.4 GIRASSOL (<i>Helianthus annuus</i>).....	16
3 MATERIAIS E METODO	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DAS FITORREMEIADORAS.....	21
4.2 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DAS PLANTAS DE GIRASSOL.....	23
4.3 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DAS PLANTAS DE GIRASSOL	24
4.4 ALTURA DO GIRASSOL	25
4.5 ÍNDICE DE FITOTOXICIDADE AVALIADO PARA AS FITORREMEIADORAS E O GIRASSOL.....	25
5 CONCLUSÃO	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

A fitorremediação é uma tecnologia que se utiliza de espécies vegetais para a recuperação de solos degradados, podendo ser também conceituada como o uso de plantas e seus microrganismos associados, para tratamento de solo, água ou ar contaminado. Surgiu recentemente com potencial para tratamento eficaz de uma larga escala de poluentes orgânicos e inorgânicos. Segundo Lambert (2012), a fitorremediação em solos degradados pode auxiliar na melhoria de características físicas e químicas do local, inclusive em solos poluídos com o herbicida diclosulam.

O herbicida diclosulam é recomendado para o controle de plantas daninhas de folhas largas na cultura da soja. Sua aplicação deve ser realizada em pré-plantio e pré-emergência, em plantio convencional e em plantio direto, devendo ser usado somente uma vez por ano. Esse herbicida é utilizado em pequenas concentrações, que giram em torno de 23,8 a 41,7 g por hectare. Mesmo sendo usado em baixas concentrações o período de espera para o plantio de culturas sensíveis é de 18 meses contando a partir de sua aplicação (Spider [bula]. Michigan: The Dow Chemical Company).

Uma alternativa que pode acelerar a retirada do diclosulam do solo é a fitorremediação, consistindo na utilização de espécies vegetais que apresentam tolerância ao herbicida em questão. Essa tolerância pode ser proveniente 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 (PROCÓPIO et al., 2004).

Segundo Madalão et al. (2012), no interior das células das plantas os compostos orgânicos passam por algumas transformações antes de serem isolados em vacúolos ou ligar-se a estruturas celulares insolúveis, como a lignina. Outra forma de minimizar a presença do herbicida no meio é através da fitoestimulação, que consiste na estimulação da atividade microbiana através da liberação de exsudatos radiculares. Os micro-organismos atuam na degradação do composto presente no solo, o que caracteriza, em algumas plantas, a aptidão rizosférica para a biorremediação de compostos tóxicos (BRAZ et al., 2010).

Segundo Procópio et al. (2004), a escolha das plantas que apresentam tolerância ao herbicida é o primeiro passo a ser realizado, selecionando assim as espécies potencialmente fitorremediadoras. Porém deve-se evitar a utilização de espécies de difícil controle posterior, dando preferência àquelas que promovam outros benefícios ao solo, como é o caso da

Crotalaria juncea, *Crotalaria spectabilis* e *Mucuna aterrima* que são utilizadas na adubação verde (TEODORO et al., 2011).

As espécies leguminosas, entre elas a *Crotalaria juncea*, a *Crotalaria spectabilis* e a *Mucuna aterrima* possuem a capacidade de fitorremediar determinados compostos sintéticos presentes no solo devido a uma aplicação anterior, diminuindo assim a probabilidade de ocorrência do fenômeno de “*carryover*” que prejudicará culturas semeadas em sucessão (PIRES et al., 2004). Uma forma de testar a presença do herbicida na área é usando culturas sensíveis a tal composto sintético, sendo conhecidas como plantas bioindicadoras (PROCÓPIO et al., 2004).

O girassol é uma cultura extremamente sensível ao diclosulam, apresentando sensibilidade à presença desse composto no solo sendo assim uma ótima planta bioindicadora para determinado herbicida (MONQUERO et al., 2013).

Neste sentido, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência da fitorremediação por *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* e *Mucuna aterrima* em solo contaminado com o herbicida diclosulam nas condições climáticas de São João Evangelista – MG.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DICLOSULAM

Segundo Souza (2010), na biosfera, o solo age como um tampão natural e como depósito de contaminantes, controlando o transporte de elementos químicos e substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota. O papel mais importante do solo segundo Anjos (1998), é sua produtividade, que é essencial para a sobrevivência dos seres humanos.

O crescimento da população tem forçado o aumento na produção de alimentos nos últimos anos. A abertura de novas fronteiras agrícolas, utilização de fertilizantes, intensificação do uso do solo, o uso de variedades melhoradas, a adoção de plantios adensados, o uso de agroquímicos, e, recentemente, a introdução de plantas transgênicas, entre outras, são tecnologias utilizadas objetivando à maior produção de alimentos. A utilização de herbicidas tem contribuído de maneira crucial para a expansão e o desenvolvimento da agricultura brasileira. Entre as classes de defensivos, os herbicidas tem o de maior consumo financeiro (MANCUSO et al., 2011).

Segundo Mancuso et al. (2011), o solo é o destino final dos produtos químicos usados na agricultura, sejam eles aplicados na parte aérea das plantas ou diretamente no solo. Ao entrarem em contato com o solo, os herbicidas estão sujeitos a processos físico-químicos que regulam seu destino no ambiente.

O diclosulam (N-[2,6-diclorofenil]-5-etoxi-7-fluoro(1,2,4) triazolo-[1,5c] pirimidina-2-sulfonamida) é um herbicida pertencente do grupo químico triazol pirimidina sulfonamidas. Sua aplicação é recomendada em pré-emergência da planta daninha, apresentado na formulação de grânulo dispersivo em água e com classe toxicologia II, altamente tóxico (YODER et al., 2000; apud PERIM, 2014).

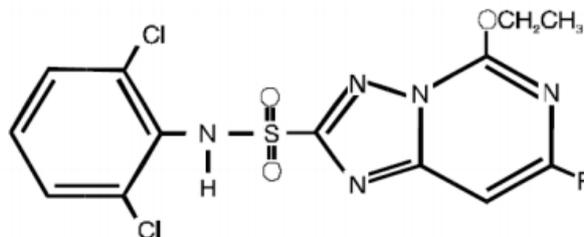


Figura 1: Fórmula estrutural do diclosulam. (ANVISA, 2014)

Segundo Singh & Shaner (1995) apud Perim (2014), a absorção do herbicida diclosulam é realizada principalmente pelas raízes e caules. O diclosulam possui ação sistêmica e tem metabolismo rápido inibindo a acetolactato sintase (ALS), essa enzima está

situada no cloroplasto, onde catalisa a condensação de duas moléculas de piruvato em acetolactato, sendo o mesmo convertido em valina e leucina. Uma reação parecida, que produz a acetoidroxibutirato, responsável pela biossíntese da isoleucina, também é catalisada pela ALS, quando o α -ketobutirato e o piruvato são usados como substrato. A paralisação do crescimento, amarelecimento dos meristemas e redução do sistema radicular, com as raízes secundárias apresentando-se uniformemente curtas e engrossadas, são sintomas, que se tornam evidentes de uma a duas semanas após a aplicação (PERIM, 2014).

A meia-vida do diclosulam varia de 60 a 90 dias, dependendo das condições de clima e solo (LAVORENTI et al., 2003; apud PERIM, 2014). Apresenta excelente controle como latifolicida, sendo que também pode promover a supressão do crescimento de algumas gramíneas, como *Digitaria horizontalis*, *Brachiaria decumbens*, *Cenchrus echinatus*, *Brachiaria plantaginea*, e *Cyperus rotundus* (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011; apud PERIM, 2014).

Segundo Monquero et al. (2013) a aplicação do diclosulam na cultura da soja pode causar injúrias em culturas sucessoras, como o milho, tomate, algodão, sorgo e girassol, sendo que este último não deverá ser plantado em áreas que receberam aplicação desse herbicida por período de até 18 meses.

Brighenti et al. (2002) apud Mancuso et al. (2011) constataram a persistência do diclosulam no solo depois de 75 a 90 dias após sua aplicação, sendo que o herbicida foi responsável por causar redução total do estande de girassol. Segundo Mancuso et al. (2011), o diclosulam também apresentou-se nocivo para a cultura do sorgo, visto que, suas folhas apresentaram clorose internerval após a aplicação do herbicida, evoluindo para pequenas manchas na forma de estrias, sendo esses efeitos mais evidentes aos 28 dias após a emergência (DAE). Além disso, a aplicação do herbicida também causou redução de peso das plantas avaliadas aos 30 DAE (MANCUSO et al., 2011).

De acordo com Carvalho et al. (2016) um problema que se tem na utilização de herbicidas residuais em áreas de produção agrícola é o efeito dos mesmos sobre a cultura sucessora. Para amenizar esse efeito residual, uma das técnicas que pode ser utilizada é a fitorremediação.

2.2 UTILIZAÇÃO DA FITORREMEDIAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO

A biotecnologia é considerada uma importante ferramenta para a proteção do meio ambiente (ANSELMO & JONES, 2005). De acordo com Abrabri (2004), Além das plantas já utilizadas, resistentes a insetos e tolerantes a herbicidas, diminuindo o uso de agrotóxicos e a

necessidade de aragem do solo, a ciência agora estuda a aplicação de plantas geneticamente modificadas na limpeza de solos contaminados.

A estimativa mundial para os gastos anuais com a despoluição ambiental é de aproximadamente 25 - 30 bilhões de dólares (ANSELMO & JONES, 2005). No Brasil os investimentos para o tratamento dos resíduos humanos, industriais e agrícolas crescem à medida que aumentam as exigências da sociedade, e leis mais rígidas são aplicadas (DINARDI, 2003). A fitorremediação é a tecnologia mais barata, sendo capaz de atender uma maior demanda, e apresentando o maior potencial de desenvolvimento futuro (CHANEY, 2004).

Nos últimos anos, surgiram na Europa e nos EUA várias companhias que exploram a fitorremediação para fins lucrativos, como a alemã BioPlanta e a norte americana Phytotech, e indústrias multinacionais, como Union Carbide, Monsanto e Rhone-Poulenc, que usam a fitorremediação em seus próprios sítios contaminados (ANSELMO & JONES, 2005). Muitas universidades desenvolvem projetos nesta área. No Brasil, sabe-se que algumas empresas privadas e estatais, assim como instituições acadêmicas (Unicamp, por exemplo) pesquisam e exploram métodos de biorremediação através da fitorremediação (DINARDI, 2003).

Existem alguns fatores que devem ser observados antes da implantação de programas de fitorremediação, como as características físico-químicas do solo e do contaminante, e sua distribuição na área (JONES & ANSELMO, 2005). Qualquer fator que venha a interferir negativamente no desempenho das plantas deve ser controlado ou minimizado, para que o processo de descontaminação seja mais eficiente. As plantas ao serem selecionadas devem apresentar potencial para fitorremediação (JONES & ANSELMO, 2005).

A escolha do método de remediação é dependente das características do local, da concentração e, dos tipos de poluentes a serem removidos, e do uso final do meio contaminado. Esses métodos são realizados utilizando um dos seguintes processos: fitorremediação (utilização de plantas objetivando a remoção, transferência, estabilização ou destruição dos elementos nocivos) biorremediação (é um processo que consiste na introdução de micro-organismos específicos no local da contaminação); separação mecânica; eletrocinética (passagem de uma corrente elétrica de baixa intensidade entre os eletrodos envolvidos pelos contaminantes do solo); tratamento químico (processos oxidativos ou redutores); tratamento por paredes permeáveis; e tratamento “*in situ*”. Muitos métodos ainda estão em desenvolvimento (JONES & ANSELMO, 2005).

A fitorremediação é uma técnica que tem sido cada vez mais estudada devido à sua eficiência, adequação a aplicações em longo prazo, pouca manutenção exigida e vantagens

estéticas, e ainda tem o atrativo de apresentar um custo baixo e de ser mais bem aceita pela população, pois utiliza plantas em um processo reconhecido como mais “natural” (ANSELMO & JONES, 2005).

As plantas utilizadas para fitorremediar auxiliam na remoção de contaminantes presentes no ambiente, como agrotóxicos, metais e até óleos. Uma vez que as plantas retiram estes contaminantes do ambiente, elas contribuem para que os mesmos não sejam transportados por chuva e vento, evitando assim a dispersão do poluente para outras áreas. Sendo assim a fitorremediação é o nome dado à tecnologia que através da utilização de plantas consegue limpar locais contaminados (MADALÃO, 2006).

Segundo Madalão (2006), é muito recente o termo fitorremediação, surgindo na década de 1990, sendo que grande parte dos conhecimentos sobre o assunto, provém de estudos realizados em diversas áreas. Com o tempo, foi se verificando a eficiência das plantas na remoção de metais pesados e outros contaminantes presentes no ambiente. Atualmente o termo referente à fitorremediação é usado amplamente nas diversas áreas de pesquisa ao redor do mundo.

A fitorremediação funciona com mais eficiência em locais que apresentam baixas e médias concentrações de poluentes. Através do sistema radicular as plantas poderão remover químicos do solo. As raízes podem crescer muito dentro do solo e desta forma podem penetrar e alcançar poluentes em áreas profundas do solo. Ao entrar no sistema interno das plantas os poluentes podem ficar armazenados nas raízes, caule e folhas. As plantas podem causar mudanças químicas no poluente, fazendo com que o mesmo ao passar por tais mudanças apresente posteriormente um baixo perigo ao ambiente (MADALÃO, 2006).

Os mecanismos presentes nas plantas capaz de fitoremediar, são processos fisiológicos que contribuem e auxiliam na fitorremediação, como: fitoestabilização, fitovolatilização, fitodegradação, fitoestimulação e fitoextração (PILONSMITS, 2005). O mecanismo capaz de degradar as moléculas herbicidas, ainda não está bem elucidado, mas, a fitodegradação é o mecanismo mais desejável, ponderando-se a probabilidade de completa mineralização do contaminante por esta via (PROCÓPIO et al., 2007).

2.2.1 Fitoextração

De acordo com Nascimento & Xing (2006), a fitoextração consiste na capacidade das plantas em extrair os contaminantes do solo e os acumulando preferencialmente na parte aérea. A fitoextração é um mecanismo que as plantas apresentam para remoção de

contaminantes dos solos mediante absorção pelas raízes, transporte e concentração na biomassa (GIARDINI, 2010).

2.2.2 Fitoacumulação

Segundo Raskin et al. (1994), as plantas fitoacumuladoras são altamente especializadas em acumular ou tolerar altas concentrações do contaminante. Após a fitoextração o contaminante é armazenado em parte dos vegetais, que armazenam nas raízes ou em outras partes o composto nocivo em questão sem que haja modificação nas moléculas do xenobiótico.

2.2.3 Fitodegradação

No processo de fitodegradação ocorre a quebra da molécula do contaminante que foi absorvido pela planta através de processos metabólicos que ocorrem no vegetal (LAMEGO; VIDAL, 2007). Durante o processo de fitodegradação, o poluente é transformado em substâncias menos tóxicas. Os poluentes orgânicos são mineralizados ou degradados dentro das células vegetais por enzimas específicas (CUNNINGHAM et al., 1996).

2.2.4 Fitovolatilização

A volatilização de um contaminante fitotransformado a uma forma volátil, a qual é liberada na atmosfera. Esse processo ocorre após a fitoextração, ou mesmo após a fitoacumulação. Ele aproveita da capacidade de metabolização de plantas e microrganismos integrados à rizosfera para transformar os poluentes em compostos voláteis em meios não tóxicos em seguida são liberados para a atmosfera (COUTINHO et al., 2015).

2.2.5 Fitoestabilização

A fitoestabilização é responsável por estabilizar os poluentes no solo, antecipando as perdas por erosão ou lixiviação. Ocorrendo, processos como a precipitação do poluente na rizosfera por meio de humificação ou ligações covalentes irreversíveis são realizados promovendo a conversão do poluente para forma menos biodisponível. Como também pode ocorrer a liberação de O₂ e demais compostos, imobilizando metais na região da rizosfera (PILON-SMITS, 2005; VIEIRA, 2011).

2.3 MUCUNA PRETA (*Mucuna aterrima*) E CROTALARIAS (*Crotalaria juncea*; *Crotalaria spectabilis*)

As *Crotalarias juncea* e *spectabilis* são de origem indiana, possuindo ótima adaptação às regiões tropicais. As plantas são arbustivas, de crescimento ereto e determinado. Produz fibras com celulose de alta qualidade, sendo próprias para a indústria de papel e outros fins. É recomendada para adubação verde devido ao seu rápido crescimento, atingindo de 3 a 3,5 metros de altura. Além disso, é considerada má hospedeira de nematóides formadores de cistos e galhas. Apresenta produtividade média que varia de 10 a 15 t.ha⁻¹ de material seco. O ciclo de plantio até a colheita das vagens pode chegar a 180 dias, porém, quando destinadas para adubação verde, recomenda-se o corte das Crotalarias quando as mesmas apresentarem máxima produção de material no florescimento, que ocorre por volta de 120 dias, (AMBROSANO et al., 1997).

De acordo com Ambrosano et al. (1997), a *Mucuna aterrima* apresenta crescimento rasteiro e vigoroso, de ampla adaptação. Seu ciclo é anual ou bianual, sendo recomendada principalmente para adubação verde. A *Mucuna aterrima* é eficiente no controle de nematóides formadores de galhas, e sua produção de material seco pode alcançar 10 t.ha⁻¹. O ciclo, do plantio até a colheita das vagens, gira em torno de 240 dias, mas para fins de adubação verde, o corte deve ser feito na época de florescimento, por volta de 120 dias.

2.4 GIRASSOL (*Helianthus annuus*)

Segundo Mascarenhas et al. (2010), o girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea anual, pertencentes a família Asteraceae, sendo produtora de grãos, e de fácil adaptabilidade. Atualmente, o *H. annuus* é cultivado em todos os continentes, destacando-se como a quarta oleaginosa em produção de grãos e a quinta em área cultivada no mundo (CASTRO et al., 1996).

Segundo Castro et al. (1996), o girassol é uma oleaginosa que apresenta características agrônômicas importantes, como maior resistência ao frio, ao calor e a seca, do que a maioria das espécies normalmente cultivadas no Brasil. Apresenta grande adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas, sendo seu desenvolvimento pouco influenciado pela altitude, latitude e pelo fotoperíodo. Devido o girassol apresentar essas características, ele é uma boa opção nos sistemas de rotação e sucessão de culturas nas regiões produtoras de soja (CASTRO et al., 1996).

Segundo Cruz et al. (2007), o girassol é uma das principais culturas plantas sucessivamente a cultura da soja. De acordo com Gazziero et al. (2001), uma das preocupação dos agricultores e técnicos que realizam a semeadura direta do girassol é a possibilidade da persistência de agrotóxicos no solo. O diclosulam, por exemplo, quando aplicado no solo em doses recomendadas, apresenta o tempo de meia vida que varia de 33 a 65 dias, visto que as culturas como milho, girassol, sorgo e brássicas não poderão ser rotacionadas com soja. Após a colheita da soja o girassol poderá ser cultivado somente depois de 18 meses (RODRIGUES E ALMEIDA, 1998; DOW AGROSCIENCES, 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

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 *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* e *Mucuna aterrima*. 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 mm. O solo utilizado apresenta textura franco-argilo-arenoso e uma amostra foi coletada e enviada para caracterização química no Laboratório de Análise de Solos do IFMG – SJE (Tabela 1).

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

pH	P	K	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 quatro sementes por vaso, após a germinação foram desbastadas, deixando duas plantas por vaso no caso das *Crotalaris* e uma planta por vaso no caso da *Mucuna aterrima*. A escolha das espécies foi baseada no trabalho de Monquero et al. (2013).

A fitoxidade do herbicida nas plantas fitorremediadoras foi avaliada aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura (DAS) através de análises visual. Aos 60 DAS também foi avaliada a massa de matéria fresca e seca da parte aérea das espécies vegetais. Para determinar a massa seca da parte aérea, o material colhido foi colocado em estufa com circulação forçada de ar (60 ± 2 °C) por 72 horas. 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).

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 semanais. 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 et al., 1999).

Tabela 3: Média da Composição química da camada arável (0 - 20cm) do solo contido nas unidades amostrais 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 -----				
5,56	39,19	57,8	2,52	0,75	0,006	3,34	3,26	3,32	6,58	50,15	1,8	3,54	29,93

A adubação foi realizada com 0,29 g.vaso⁻¹ de superfosfato simples, 0,29 g.vaso⁻¹ de cloreto de potássio e 0,19 g.vaso⁻¹ de sulfato de amônio. Após a adubação foram semeadas sementes de girassol, *Helianthus annuus* L. espécie sensível ao diclosulam, sendo que a literatura estipula o estande de 10 sementes por metro linear, e diante disso foi realizado um cálculo para achar a área de cada vaso definindo assim quantas sementes de girassol seriam utilizadas.

Foi avaliado o índice de germinação da espécie sensível durante 20 dias após sua emergência. Depois de 45 dias do plantio do girassol, foram avaliados a altura das plantas, a biomassa fresca e seca da parte aérea. A altura das plantas foram medidas 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 (60 ± 2 °C) por 72 horas. 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), sendo estas avaliadas aos 15, 30 e 45 dias após semeadura.

Foram necessárias capinas semanais. 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

Não existem 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).

4.1 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DAS FITORREMEIADORAS

Não foi observado efeito de dose sobre o acúmulo da MFPA das fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 4). Foi observada diferença no acúmulo da MFPA das espécies fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 4). Dentre as fitorremediadoras, a *Crotalaria juncea* acumulou 32,59 g.planta⁻¹ de massa fresca aos 60 DAS. Essa produção foi 31,97 % superior a *Crotalaria spectabilis* (Tabela 5).

Resultado semelhante foi obtido por Nogueira et al. (2013), que observaram que as plantas de *Crotalaria juncea* acumularam maior quantidade de massa em relação a *Crotalaria spectabilis* nas aplicações dos herbicidas trifluralin (0,801 e 1,068 kg.ha⁻¹) e s-metolachlor (0,906 e 1,92 kg.ha⁻¹), sendo essa diferença reflexo natural do crescimento das duas espécies em questão.

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	409,5717 ^{ns}	13,0377 ^{ns}
DOSE	3	177,0064 ^{ns}	10,124 ^{ns}
FITO REMEDIADORA	2	1018,4962*	19,904 ^{ns}
DOSE x FITOREMEIADORA	6	815,1006*	24,754 ^{ns}
ERRO	4	293,0978	10,9487
TOTAL	59		
CV (%)		61,13	68,89

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

Tabela 5: Massa fresca da parte aérea de espécies utilizadas para fitorremediação do diclosulam.

FITORREMEIADORA	MFPA, (g)
<i>Crotalaria juncea</i>	32,59 a
<i>Mucuna aterrima</i>	25,88 ab
<i>Crotalaria spectabilis</i>	22,17 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; MFPAF: massa fresca da parte aérea das fitorremediadoras.

Segundo Newman et al. (1998) apud Madalão et al. (2013), o acúmulo de massa constitui uma característica importante para as espécies fitorremediadoras, pois, normalmente, correlaciona-se a maior capacidade de absorção do herbicida pelas raízes e maior acúmulo e, ou, degradação, na parte aérea. Ainda segundo Madalão et al. (2013), na avaliação feita aos 60 DAS, a *Crotalaria juncea* foi eficiente na fitorremediação da dosagem de sulfentrazone em até 400 g.ha⁻¹, sendo possível notar que a espécie *C. juncea* obteve o menor nível de redução no acúmulo de massa, indicando assim, potencial dessa espécie em programas de fitorremediação para sulfentrazone.

Houve efeito da interação entre as doses do herbicida e as espécies fitorremediadoras no acúmulo da MFPA ($p < 0,05$) (Tabela 4). Dentre as espécies estudadas a *Mucuna aterrima* foi à única influenciada com as doses do diclosulam, acumulando 47,31 g.planta⁻¹ de MFPA na aplicação do dobro da dose (60 g.ha⁻¹), sendo que este acúmulo foi 64,49% superior quando comparada a aplicação da metade da dose (15g.ha⁻¹) (Tabela 6). Esse valor de produção evidenciam o potencial de fitorremediação do diclosulam pela *Mucuna*.

A *Mucuna aterrima* possui boa capacidade para descontaminação de solo pelo fato de realizar interações com a microbiota atuante na região próxima às suas raízes. Resultados preliminares envolvendo herbicidas como o trifloxysulfuron-sodium evidencia que a mucuna preta apresentou maior capacidade fitorremediadora (DOS SANTOS et al., 2012).

Procópio et al. (2005) também consideraram a mucuna-preta eficiente na remediação do herbicida Trifloxysulfuron-sodium, com base no cultivo da espécie com quatro densidades populacionais (0, 10, 25 ou 40 plantas.m⁻¹) e duas doses do Trifloxysulfuron-sodium (0 e 15 g.ha⁻¹) como pré- tratamentos. Procópio et al. (2005), cultivando feijão, como bioindicador, observou que o rendimento de grãos nos tratamentos com cultivo prévio de *Mucuna aterrima* mais Trifloxysulfuron-sodium foi semelhante ao obtido na área não tratada com o herbicida.

Segundo Procópio et al. (2005), é possível considerar que a *Mucuna aterrima* por sua maior resistência à atrazina, possa ser utilizada num processo de descontaminação do solo, em áreas afetadas com doses do herbicida em questão, oferecendo perspectivas para fitorremediação.

Tabela 6: Acúmulo de massa fresca da parte aérea da fitorremediadora *Mucuna aterrima* cultivada em solo tratado com herbicida diclosulam.

TRATAMENTOS (g)	MFPA, (g)		MFPA, (g)
	<i>Mucuna aterrima</i>	<i>Crotalaria spectabilis</i>	<i>Crotalaria juncea</i>
60	47,31 a	22,88 a	26,54 a
30	21,63 ab	41,62 a	15,04 a
0	17,81 ab	40,03 a	23,93 a
15	16,80 b	25,83 a	23,16 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; MFPAF: massa fresca da parte aérea da *Mucuna aterrima*

Não foi observado efeito de dose, efeito de fitorremediadora e interação entre dose e fitorremediadora sobre o acúmulo da MSPA das fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 4).

4.2 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DAS PLANTAS DE GIRASSOL

Não foi observado efeito de dose, fitorremediadora e interação entre as doses do herbicida e fitorremediadoras sobre o acúmulo de MFPA e MSPA das plantas de girassol ($p < 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7: 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	272,8686 ^{ns}	12,2938 ^{ns}
DOSE	3	2267,9337 ^{ns}	90,5437 ^{ns}
FITO REMEDIADORA	2	1262,1737 ^{ns}	141,6828 ^{ns}
DOSE x FITO REMEDIADORA	6	1265,0841 ^{ns}	30,8630 ^{ns}
ERRO	44	854,3573	45,3790
TOTAL	59		
CV (%)		49,27	73,75

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5 %; * : significativo a 5 % pelo teste F; MFPAG: Massa fresca parte aérea do girassol; MSPAG: Matéria seca da parte aérea do girassol.

O fato de não ser observado efeito das doses sobre o acúmulo de MFPA das plantas de girassol, denota que as fitorremediadoras foram eficientes na extração de resíduos de diclosulam, mesmo em dose duas vezes maior que a recomendada, como comprova o trabalho de Brighenti et al. (2002), que com o uso do diclosulam sem a presença de nenhuma fitorremediadora, foi observado a redução total da população de plantas de girassol.

4.3 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DAS PLANTAS DE GIRASSOL

Foi observado efeito de dose sobre o IVG das plantas de girassol ($p < 0,05$) (Tabela 8). Não foi observado efeito da interação de dose e fitorremediadora e efeito de fitorremediadora sobre o índice de velocidade de germinação das plantas de girassol ($p < 0,05$) (Tabela 8).

As plantas apresentaram maior IVG no tratamento sem aplicação do herbicida (Tabela 8). Esse resultado demonstra que as fitorremediadoras não extraíram todo o residual do herbicida, pois foi observada redução do IVG nas doses aplicadas. Porém, a redução do IVG não alterou o crescimento das plantas de girassol (Tabela 9). Resultado semelhante foi observado também por Anschau (2016), que constatou diferentes doses de glyphosate afetaram o processo germinativo, sendo a porcentagem de germinação abaixo de 25%, enquanto na testemunha o percentual de germinação atingiu 60%.

Tabela 8: 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	5609,8600 ^{ns}
DOSE	3	5827,7298*
FITO REMEDIADORA	2	678,4394 ^{ns}
DOSE x FITOREMEDIADORA	6	1495,8599 ^{ns}
ERRO	44	1151,9214
TOTAL	59	
CV (%)		53,23

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; IVG: índice de velocidade de germinação.

Tabela 9: Índice de velocidade de germinação de girassol cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicidas diclosulam e em sucessão a espécies fitorremediadoras.

TRATAMEN TOS (g)	IVG (%)
0	86,66 a
30	70,28 ab
60	58,18 ab
15	39,93 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; IVG: índice de velocidade de germinação.

4.4 ALTURA DO GIRASSOL

Foi observado efeito de dose sobre a altura das plantas de girassol ($p < 0,05$) (Tabela 10). Não foi observado efeito das fitorremediadoras e a interação entre as doses do herbicida e as espécies fitorremediadoras na altura das plantas de girassol ($p < 0,05$) (Tabela 10).

Tabela 10: Resumo da análise de variância da altura avaliado na cultura do girassol cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.

FV	GL	QM
		ALTG
BLOCO	4	22,0885 ^{ns}
DOSE	3	226,0794 [*]
FITO REMEDIADORA	2	33,2605 ^{ns}
DOSE x ITOREMEDIADORA	6	50,6788 ^{ns}
ERRO	44	61,1860
TOTAL	59	
CV (%)		12,41

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5 %; ^{*}: significativo a 5 % pelo teste F; ALTG: altura da parte aérea do girassol.

As plantas de girassol apresentaram maior altura (67,49 cm) no tratamento que recebeu a dose de 30 g.ha⁻¹ (Tabela 11). Esse resultado demonstra a capacidade das plantas em fitorremediar o diclosulam e proporcionar condições para o crescimento do girassol. 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.

Tabela 11: Altura do girassol cultivado em solo tratado em sucessão a espécies fitorremediadoras com doses crescentes do herbicidas diclosulam.

TRATAMENTOS (g)	ALTG (cm)
30	67,49 a
60	64,70 ab
15	61,43 ab
0	58,56 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ALTG: altura da parte aérea do girassol.

4.5 ÍNDICE DE FITOTOXICIDADE AVALIADO PARA AS FITORREMEIADORAS E O GIRASSOL

Não foi observado efeito de dose, fitorremediadora e interações sobre o índice de toxicidade das fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 12). Foi observado efeito do tempo sobre

o índice de toxicidade das fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 12). Foi observado o índice de 28,35 % de toxicidade das fitorremediadoras aos 45 DAS (Tabela 13), que representa limite aceitável comercialmente, sem dano econômico de acordo com a tabela de Alam (1974). Mesmo sem ocorrer diferença no índice de toxicidade entre as fitorremediadoras, as espécies apresentaram diferença no acúmulo de MFPA (Tabela 5).

Como a maior fitotoxicidade ocorreu nos 45 dias, as fitorremediadoras se recuperaram até o seu corte (60 dias), demonstrando que não houve danos comerciais nas plantas estudadas. Resultado semelhante foi constatado por Pires (2003), que observou a redução da fitotoxicidade na *Mucuna aterrima* quando avaliada aos 60 DAS após a aplicação do herbicida tebuthiuron, quando comparada com as avaliações realizadas aos 15, 30 e 45.

Tabela 12: 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	370,4805 ^{ns}	5836,7972 ^{ns}
DOSE	3	306,6370 ^{ns}	3348,1555*
FITO	2	517,7055 ^{ns}	1254,9500 ^{ns}
TEMPO	2	11535,2055*	19862,8166*
DOSE x FITORREMEIADORA	6	367,3203 ^{ns}	632,1500 ^{ns}
DOSE x TEMPO	6	469,4648 ^{ns}	240,4388 ^{ns}
FITO REMEDIADORA x TEMPO	4	344,2138 ^{ns}	142,6166 ^{ns}
DOSE x FITO x TEMPO	12	444,3064 ^{ns}	153,2833 ^{ns}
ERRO	140	339,671984	642,3515 ^{ns}
TOTAL	179		
CV (%)		147,31	47,79

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; TOXICF: toxicidade das fitorremediadoras TOXICG: toxicidade do girassol.

Tabela 13: Porcentagem de fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes de diclosulam em três avaliações após o plantio.

AVALIAÇÕES (dias)	TOXICF (%)
45	28,35 ab
30	6,62 ab
15	2,57 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; TOXICF: toxicidade das fitorremediadoras.

Não foi observado efeito de fitorremediadora, interação de dose e fitotoxicidade, interação de dose e tempo e interação de dose, fitorremediadora e tempo nas plantas de

girassol ($p < 0,05$) (Tabela 12). Foi observado efeito de dose e tempo como mostra a tabela 12 a $p < 0,05$.

As plantas de girassol apresentaram maior fitotoxicidade na dose recomendada ($30\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) com 58,47%, mas não diferiu das demais doses (Tabela 14). A testemunha (dose $0\text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi a única que diferiu estatisticamente das demais, apresentado um índice de fitointoxicação de 40,16% como mostra a Tabela 14.

Tabela 14: Porcentagem de fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes de diclosulam.

TRATAMENTOS (g)	TOXIG (%)
30	58,47 a
15	56,49 b
60	52,02 b
0	40,16 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; TOXIG: toxidade das plantas de girassol.

As plantas de girassol apresentaram índices de toxidade elevados, o que resultou em morte de algumas plantas. Porém, as plantas que sobreviveram se reestabeleceram e se apresentaram vigorosas. Esse resultado mostra a eficiência da fitorremediação das plantas estudadas, pois, mesmo que tenha ficado resíduos do herbicida diclosulam no solo, as quantidades foram mínimas, não sendo capazes de impedir o reestabelecimento das plantas de girassol.

Foi observado efeito de tempo, no qual a fitotoxicidade foi maior aos 45 dias, apresentando um índice de 71,42% (Tabela 15). Todas as avaliações diferiram estatisticamente entre si (Tabela 15).

Esse resultado contraria a informação obtida no trabalho de Carvalho et al. (2010) apud Mancuso et al. (2011), que ao avaliar o efeito residual dos herbicidas nicosulfuron isolado e nicosulfuron mais atrazine em várias culturas, dentre elas o girassol, constataram diversos problemas de fitotoxicidade, sendo que as culturas em questão sofreram algum tipo de efeito causado pelos herbicidas até 15 dias após a semeadura, diminuindo gradualmente aos 30 e 45 dias após a semeadura.

Tabela 15: Fitotoxicidade das plantas de girassol em solo fitorremediado por diferentes espécies em diferentes períodos.

AVALIAÇÕES (dias)	TOXIG (%)
45	71,42 a
30	52,65 b
15	35,03 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; TOXIG: toxidade das plantas de girassol.

5 CONCLUSÃO

Todas as fitorremediadoras demonstraram capacidade de fitorremediar o herbicida diclosulam.

A *Crotalaria juncea* apresentou o maior acúmulo de MFPA dentre as fitorremediadoras.

A *Mucuna aterrima* apresentou maior acúmulo de MFPA quando submetida ao dobro da dose de diclosulam (60 g.ha^{-1}).

O girassol apresentou maior IVG no tratamento sem aplicação do herbicida, porém a redução do IVG não alterou o crescimento das plantas.

As plantas de girassol apresentaram maior altura no tratamento que recebeu a dose de 30 g.ha^{-1} , demonstrando assim que as fitorremediadoras estudadas apresentam potencial para extrair resíduos do diclosulam do solo.

As fitorremediadoras apresentaram índice de toxicidade aos 45 DAS, recuperando-se até o seu corte (60 dias), demonstrando que não houve danos comerciais nas plantas estudadas.

As plantas de girassol apresentaram maior fitotoxicidade na dose recomendada (30 g.ha^{-1}), sendo que está diferiu estatisticamente apenas da testemunha (0 g.ha^{-1}). E a maior fitotoxicidade foi observada aos 45 DAS, sendo que todas as avaliações diferiram estatisticamente entre si.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRABI (2004) - <http://www.abrabi.org.br/planta-transgenica.htm>. Acesso em: 23 novembro de 2016.

DE MALEZAS ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **Alam, Bogotá** v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.

ANSCHAU et al. Qualidade Fisiologica de Sementes de Girassol Submetidas A Subdosés de Glyphosate. Universidade estadual de Londrina, 3º simpósio internacional sobre glyphos ape, 2016.

ANSELMO, A. L.P.; JONES, C. M. Fitorremediação de solos contaminados: o estado da arte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2005, Porto Alegre ABREPOUCRS. p. 5273-5280. Disponível em:< http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005_Enegep1005_0558.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.

AMBROSANO, EDMILSON JOSÉ; TRIVELIN, PAULO CESAR OCHEUZE; URAOKA, TAKASHI. Técnica para marcação dos adubos verdes crotalaria júncea e mucuna-preta com 15N para estudos de dinâmica do nitrogênio. **Bragantia** v. 56, n. 1, p. 219-224, 1997.

ANJOS, J. S. A. Estratégias para a remediação de um sítio contaminado por metais pesados – Estudo de caso. 1998, 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo.

BRIGHENTI A. M., Moraes V., Oliveira J. R., Gazziero D. L. P., Gomes J., 2002. Persistence and phytotoxicity of the herbicide atrazine applied on corn crop on successive sunflower crop. **Planta Daninha** v 20, n 2: p. 291-297

CARVALHO, F.; MORETTI, T. B; SOUZA, P. A. Efeito do residual no solo de nicosulf uron isolado e em mistura com atrazine. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 9, n. 1: p. 26-34, 2010.

CASTRO, et al. "Cultura do girassol: tecnologia de produção." Londrina: EMBRAPA-CNPS O (1996).

CHANEY; VOUGH & CHEKOL. - Phytoremediation of polychlorinated biphenylcontaminated soils: the rhizosphere effect. Environment International, v. 30, n. 6, p. 799-804, 2004.

COUTINHO, H.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização. **Silva Lusitana** v.15, n. 1, p. 103-117, 2007.

CUNNINGHAM; ANDERSON, T; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Adv. Agron**, v. 56, p. 55-114, 1996.

CRUZ, J. C.; PEREIRA, F. T.; PEREIRA FILHO, I.; OLIVEIRA, A. C.; MAGALHÃES, P. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** Sete Lagoas, v. 6, n. 1, p. 60-73, 2007.

DINARDI, A., VANESSA M. FORMAGI & RONALDO PELEGRINI. Fitorremediação. www.agr.unicamp.br – **Faculdade de Engenharia Agrícola**. Acessado em 30 de agosto de 2010.

DOS SANTOS, et al. Utilização da mucuna preta (*Mucuna aterrima*) para a fitorremediação de solo contaminado por chumbo. **Revista Ago@mbiente Online**, v. 6, n. 3, 2012.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar versão 4.2. **Lavras: UFLA** 2003.

GARCIA, J. H. Fitorremediação. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/meio-ambiente/fitorremediacao/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2016.

GIARDINI, B.; Fitorremediação: usos gerais e características de aplicação de herbicidas. 36f., **Dissertação** (Graduação Tecnológica em Gestão Ambiental) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, INCONFIDENTES, 2010.

GAZZIERO, D. L. et al. As plantas daninhas e a semeadura direta. **Embrapa Soja. Circular Técnica** 2001.

LAMEGO, F.; VIDAL, R. Fitorremediação: Plantas como agentes de despoluição. Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente** 7, p. 9-18, 2007.

MADALÃO et al. Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida ulfentrazone por espécies de adubos verdes. **Revista de Ciências Agrárias** 55, n. 4, p. 288-296, 2012.

MADALÃO, et al. Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone. **Ceres** v. 60, n. 1, 2015.

MANCUSO; NEGRISOLI S.; PERIM L. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Revista Brasileira de Herbicidas** 10, n. 2, p. 151-164, 2011.

MASCARENHAS, M. H. T. et al. Seletividade de herbicidas na cultura do girassol. **Rev. Bras. Herb**, v.11, n.2, p.174-186, mai./agos. 2012 Preto, SP, 2010. Resumos expandidos, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010. CD_ROM. p.2225-2229, 2010.

MILLER, D. Configurations revisited. *Strategic Management Journal*, 17: 505-512, 1996.

MONQUERO; MUNHOZ; DA SILVA HIRATA. Persistência de imazaquim e diclosulam e m função da umidade do solo. **Revista Agro@mbiente Online**, v. 7, n. 3, p. 331-337, 2013.

NASCIMENTO, C.; XING, B. Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. **Scientia Agricola**, 63, p. 299-311, 2006.

NOGUEIRA, C. Henrique, P. "Seletividade dos herbicidas Bentazon e Nicosulfuron para *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis* em consórcio com a cultura do milho." (2015): x-79.

PERIM. Dinâmica, eficácia e seletividade do diclosulam em condições de cana crua. 2014. 74 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/116042>>.

PILON-SMITS E. Phytoremediation. *Annu Rev Plant Biol*: 56, p. 15-39, 2005.

PROCÓPIO, S. O. et al. Development of bean plants in soil contaminated with trifloxysulfuron sodium after *Stizolobium aterrimum* and *Canavalia ensiformis* cultivation. **Planta Daninha** Viçosa, v. 25, n. 1, p. 87-96, 2007.

PROCÓPIO, S. O. et al. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha** v. 22, n. 2, p. 315-322, 2004.

PROCÓPIO, S. O. et al. Phytoremediation of soil contaminated with trifloxysulfuron -sodium by *Stizolobium aterrimum*. **Planta daninha** v. 23, n. 4, p. 719-724, 2005.

RASKIN, I., KUMAR, PBA. N., DUSHENKOV, J. R.; SALT, D. E. Bioconcentration of heavy metals by plants. **Current Opinions Biotechnology** Philadelphia, v.5, p.285 - 290 1994.

RODRIGUES, B. N. & ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 4ª. Ed. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, 1998. 648p.

SOUZA, M. R. F. Fitorremediação de solo contaminado por metais pesados – Trabalho de conclusão de curso, 2010, 29 f. Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix.

TEODORO, et al. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35, n. 2, p. 635-643, 2011.