INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
VICTOR DUARTE VIEIRA

FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM E SULFENTRAZONE UTILIZANDO *Calopogonium mucunoides, Canavalia ensiformis* e *Dolichos lablab.*

São João Evangelista
2018

VICTOR DUARTE VIEIRA

FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM E SULFENTRAZONE UTILIZANDO *Calopogonium mucunoides, Canavalia ensiformis* e *Dolichos lablab.*

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
2018

FICHA CATALOGRÁFICA

V657f Vieira, Victor Duarte.
2017

Fitorremediação de solo contaminado com picloram e sulfentrazone utilizando Calopogonium mucunoides, Canavalia ensiformis e Dolichos lablab.. / Victor Duarte Vieira. – 2018.
40f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2018.

Orientadora: M. Alisson José Eufrásio de Carvalho

1. Adubos verdes. 2. Dolichos lablab. 3. Canavalia ensiformis. 4. Calopogonium mucunoides. 5. Fitotoxicidade. I. Vieira, Victor Duarte. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 631.8

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

VICTOR DUARTE VIEIRA

FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM PICLORAM E SULFENTRAZONE UTILIZANDO *Calopogonium mucunoides, Canavalia ensiformis e Dolichos lablab.*

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.

BANCA EXAMINADORA

_____

Orientador Prof. Me Alisson José Eufrásio de Carvalho

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

_____

Mestrando Bruno Magno Moreira

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

_____

Doutoranda Patrícia Lage

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a DEUS por ter me dado saúde e força para superar às dificuldades e por me permitir concretizar este sonho!

Aos meus pais, José Antônio Martins Vieira e Cremilda Maria Duarte Vieira, por todo o apoio e carinho nessa minha jornada.

Aos meus irmãos, Arthur e Viviane, pelo constante incentivo.

Ao Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho. Obrigado pela orientação, amizade, confiança, atenção, sugestões e pelos valiosos ensinamentos transmitidos, que contribuíram para a realização deste trabalho.

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

A todos os meus colegas que me apoiaram nessa caminhada. Em especial a Agatha, Altieres e Leandro que colaboraram muito para a conclusão deste trabalho.

Aos demais amigos da Agronomia e Eng. Florestal que me ajudaram e apoiaram muito.

Aos amigos da República Kaxasamba, por todo o apoio oferecido durantes todos esses anos.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho, muito Obrigado!

RESUMO

A técnica de fitorremediação é uma alternativa que tem um grande potencial de realizar tratamentos de solos contaminados de diferentes herbicidas, como picloram e sulfentrazone, herbicidas estudados neste trabalho, método bem menos oneroso para o produtor, demostrando grande eficiência. O objetivo deste trabalho foi avaliar a tolerância de adubos verdes ao picloram e sulfentrazone e a capacidade dessas plantas em diminuírem os efeitos fitotóxicos dos herbicidas nas bioindicadoras *Cucumis sativus* e *Sorghum bicolor*. Foram avaliadas, em casa de vegetação, quatro doses do herbicida picloram e sulfentrazone (0; 1,0; 2,0 e 4,0 $l.ha^{-1}$) em pré-emergência dos adubos verdes *Dolichos lablab, Canavalia ensiformis* e *Calopogonium mucunoides*. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro doses de herbicidas e três comunidades de plantas, com cinco repetições para cada herbicida. A parte aérea dessas plantas foi coletada após 60 dias da emergência, sendo semeado *Cucumis sativus* (pepino) como bioindicadora para o herbicida picloram e *Sorghum bicolor* (sorgo) como bioindicadora do herbicida sulfentrazone, cultivado por 45 dias após a semeadura. Os resultados evidenciaram *Canavalia ensiformis* como a espécie eficientes na fitorremediação de solos contaminados com picloram e sulfentrazone.

Palavras-chave: Adubos verdes. *Dolichos lablab. Canavalia ensiformis. Calopogonium mucunoides.* Fitotoxicidade.

ABSTRACT

The phytoremediation technique is an alternative that has a great potential to perform treatments of contaminated soils of different herbicides, such as picloram and sulfentrazone, herbicides studied in this work, a method that is less onerous for the producer, showing great efficiency. The objective of this work was to evaluate the tolerance of green manures to picloram and sulfentrazone and the ability of these plants to reduce the phytotoxic effects of herbicides on the bioindicators *Cucumis sativus* and *Sorghum bicolor*. Four doses of the herbicide picloram and sulfentrazone (0, 1.0, 2.0 and 4.0 l.ha-1) were evaluated in the greenhouse of the green manures *Dolichos lablab, Canavalia ensiformis* and *Calopogonium mucunoides*. The treatments were arranged in a 4 x 3 factorial scheme, four herbicide doses and three plant communities, with five replicates for each herbicide. The aerial part of these plants was collected after 60 days of emergence, and *Cucumis sativus* (cucumber) was sown as a bioindicator for the herbicide picloram and *Sorghum bicolor* (sorghum) as a bioindicator of the herbicide sulfentrazone cultivated for 45 days after sowing. The results evidenced *Canavalia ensiformis* as the efficient species in the phytoremediation of soils contaminated with picloram and sulfentrazone.
Keywords: Green fertilizers. *Dolichos lablab. Canavalia ensiformis. Calopogonium mucunoides*. Phytotoxicity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10

2. REFERENCIAL TEÓRICO 12

2.1 PICLORAM 12

2.2 SULFENTRAZONE 13

2.3 FITORREMEDIAÇÃO 14

2.4 FITORREMEDIADORAS 16

2.4.1 Calopogonium mucunoides 16

2.4.2 Canavalia ensiformis 17

2.4.3 Dolichos lablab 18

2.5 *CUCUMIS SATIVUS* 18

2.6 *SORGHUM BICOLOR* 19

3. METODOLOGIA 20

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 23

4.1 PICLORAM 23

4.1.1 Fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras 23

4.1.2 Altura das plantas de fitorremediadoras 24

4.1.3 Diâmetro de caule das plantas de fitorremediadoras 25

4.1.4 Massa fresca e seca da parte aérea das leguminosas 26

4.1.5 Índice de velocidade de germinação do pepino (IVG) 27

4.1.6 Matéria fresca e seca da parte aérea do pepino 28

4.2 SULFENTRAZONE 29

4.2.1 Fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras 30

4.2.2 Altura das fitorremediadoras 29

4.2.3 Diâmetro de caule das plantas de fitorremediadoras 33

4.2.4 Massa fresca e seca da parte aérea das leguminosas 34

4.2.5 Índice de velocidade de germinação do sorgo (IVG) 35

4.2.6 Matéria fresca e seca da parte aérea do sorgo 36

5. CONCLUSÃO 38

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 38

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 - Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram. 23
Tabela 4 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram. 23
Tabela 5 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram ao 15, 30 e 45 dias após o plantio. 24
Tabela 6 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram aos 15, 30 e 45 dias após o plantio. 24
Tabela 7 - Resumo da análise de variância da altura avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por picloram. 25
Tabela 8 - Altura das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram. 25
Tabela 9 - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por picloram. 25
Tabela 10 - Diâmetro das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram. 26
Tabela 11 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras picloram. 26
Tabela 12 - Acumulo de massa fresca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida picloram. 27
Tabela 13 - Acumulo de massa seca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida picloram. 27
Tabela 14 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do pepino cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas. 28
Tabela 15 - Índice de velocidade de germinação do pepino cultivado em sucessão as diferentes comunidades de plantas. 28
Tabela 16 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do pepino cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas. 28
Tabela 17 - Massa fresca da parte aérea do pepino (MFPAP) e médias da massa seca da parte aérea do pepino (MSPAP) cultivados em sucessão a diferentes comunidades de plantas. 29

Tabela 18 - Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 30
Tabela 19 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 31
Tabela 20 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 31
Tabela 21 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 31
Tabela 22 - Resumo da análise de variância da altura avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone. 29
Tabela 23 - Altura das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 30
Tabela 24 - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone. 33
Tabela 25 - Diâmetro das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 33
Tabela 26 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras sulfentrazone. 34
Tabela 27 - Acumulo de massa fresca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 34
Tabela 28 - Acumulo de massa seca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 35
Tabela 29 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do sorgo cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas. 35
Tabela 30 - Índice de velocidade de germinação do sorgo cultivado em sucessão as diferentes comunidades de plantas. 36
Tabela 31 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do sorgo cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas. 36
Tabela 32 - Acumulo de massa fresca da parte aérea do sorgo cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 36
Tabela 33 - Acumulo de massa seca da parte aérea do sorgo cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida sulfentrazone. 37

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e otimização do agronegócio brasileiro vem em virtude do aumento da utilização de herbicidas no ciclo de produção, sendo uma prática comum nas atividades agropecuárias, indispensável para produção no sistema de plantio direto (D'ANTONINO et al., 2009). Todavia, herbicidas que possuem um efeito residual no solo que impedem ou reduzem o aparecimento de plantas daninhas, podem permanecer por cerca de três anos na área inviabilizando à mesma para cultivo (CARMO et al.,2008b). Para o maior efeito residual são utilizados herbicidas que apresentam um maior período total de prevenção da interferência das plantas daninhas (PTPI), sendo sua utilização muito difundida em grandes áreas de produção pois garante assim uma produtividade maior das culturas trabalhadas consequentemente uma maior lucratividade (PIRES, 2003; PROCOPIO, 2008).

Segundo Belo et al. (2007) geralmente o fechamento da parte aérea do cultivo e o encerramento do PTPI ocorre de forma simultânea, principalmente em culturas anuais. Apesar do uso de herbicidas com maior efeito residual, este pode ser indesejável para certas culturas, pois com uma meia vida longa no solo fica sujeito a *carryover*, ou seja, resíduos de moléculas de herbicidas que podem prejudicar a cultura subsequente, acarretando mau desenvolvimento das plantas em virtude desse resíduo presente no solo.

Atualmente, no Brasil há em circulação no mercado aproximadamente 366 princípios ativos em mais de 1458 formulações diferentes de defensivos agrícolas, com isso são produzidos novas moléculas visando a sua rápida decomposição (LONDRES, 2011). O uso desordenado e indiscriminado dos defensivos agrícolas o meio ambiente tem sofrido sérias consequências, como contaminação dos cursos d´água através do escoamento superficial, também tem atingido os lençóis freáticos através da percolação e lixiviação dos resíduos ocasionando uma diminuição da qualidade das águas (TEXEIRA et al., 2007; PROCOPIO et al., 2008). Causando toxidade a organismos que não eram o alvo dos herbicidas, podendo muitas das vezes serem moléculas recalcitrantes que acabam se acumulando na cadeia alimentar, podendo ocasionar sérios danos não só para o meio ambiente como para seres vivos, além de causar danos a microbiota presente no solo (CUNNINGHAM, 1996; PROCOPIO et al., 2008).

O princípio ativo picloram (ácido 4-amino 3,5,6 tricloro-2-piridinacarboxílico), se enquadra entre os herbicidas que tem causado maiores preocupações sobre diversos pesquisadores e ambientalistas, pois apresenta longa persistência no solo (CARMO et al., 2008b; PROCOPIO et al., 2008; BELO et al., 2011)), podendo ser encontrado e permanecer

ativo na matéria orgânica proveniente de áreas de pastagens onde anteriormente ocorreu a aplicação com esse herbicida (RODRIGUES et al., 2005).

Já o sulfentrazone (N-[2,4-dicloro-5-[4-(diflurometil)-4,5-di-hidro-3-metil-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-il]fenil]metanosulfonamida) é um princípio ativo muito utilizados em diversas culturas como cana-de-açúcar, soja, citrus, café, eucalipto, podendo ser usado em áreas não agrícola (AGROFIT, 2005). Apresenta uma elevada persistência no solo, podendo assim aumentar o risco de contaminação ambiental por resíduos presentes na área de aplicação (BELO et al., 2016).

Recentemente diversos pesquisadores como Carmo et al. (2008); Procópio et al. (2008); Belo et al. (2011); Franco et al. (2014), conduziram trabalhos sobre a descontaminação de solos com resíduos de herbicidas através da utilização de plantas tolerantes, sendo essa técnica conhecida como fitorremediação. Essa tecnologia utiliza a associação de plantas consideradas fitorremediadoras juntamente com a comunidade microbiana presente no solo, que realizam a degradação, volatilização, imobilização ou sequestro os resíduos tóxicos presentes no solo (VASCONCELOS, 2012).

Método que possibilita tornar uma área que está contaminada em uma área agricultável, de forma simples e sem custos elevados ao produtor, pois o tratamento da área é *in situ*, tendo também como benefício secundário da fitorremediação a adubação verde, (PIRES, 2003). Vários estudos foram realizados com o intuito de selecionar espécies fitorremediadoras com capacidade de fitorremediar diversas moléculas de herbicidas (ASSIS et al., 2010).

Para os trabalhos de fitorremediação de herbicidas, pesquisadores têm utilizado como metodologia usual a realização de bioensaios com possíveis espécies fitorremediadoras, devido sua precisão ser satisfatória e o baixo custo de implantação. Usando-se plantas com elevada sensibilidade à substância tóxica avaliada, sendo consideradas bioindicadoras (MELO et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência dos adubos verdes: *Calopogonium mucunoides, Canavalia ensiformis e Dolichos lablab*, em realizar a fitorremediação dos herbicidas picloram e sulfentrazone, utilizando como bioindicadoras as cultura do pepino (*Cucumis sativus)* e do sorgo (*Sorghum bicolor*), respectivamente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PICLORAM

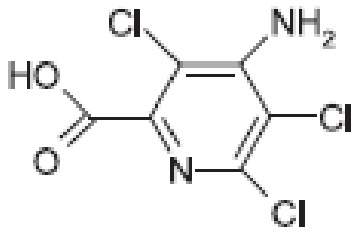
No ano de 2015 o Brasil detinha um rebanho de 215,2 milhões de cabeça, segundo lugar no ranking mundial, atrás apenas da Índia (IBGE, 2016). A pecuária brasileira possui uma grande disponibilidade de pastagens (SANTOS et al., 2006), estima-se que a área em 168 milhões de hectares de pastagens, incluindo pastagens produtivas e degradadas (FAEP, 2015), número esse que teve uma significativa queda em relação ao senso do IBGE no ano de 2010, que girava entorno de 197 milhões de hectares de pastagem no Brasil (VENDAME et al., 2014).

Um dos principais motivos para a redução da área de pastagem no país é devido a fronteira agrícola brasileira ter sido direcionada para as áreas de pastagens degradadas e não sobre as florestas, situação comum nas áreas de expansão agrícola brasileira (FAEP, 2015).

No entanto as pastagens degradadas encontradas no Brasil apresentam um grande problema que é a alta infestação de plantas daninhas, promovendo assim o uso maior e desordenado de herbicidas para o controle das plantas invasoras, sendo o picloram o herbicida mais utilizado para controle dessas infestações (SANTOS et al. 2006).

O ácido de picloram [4-amino-3,5,6-tricloro-2-piridinacarboxílico], é uma herbicida que possui alta solubilidade em água, pka 2,3; coeficiente de partição (Kow) 1,4 a pH 7,0 e 83,2 a pH 1; e Koc médio de 16 ml g^{-1} de solo (SANTOS et al., 2006), apresentando a fórmula estrutural representada na figura 1.

Figura 1. Formula estrutural do Picloram.



Fonte: TEXEIRA et al. (2007).

É o princípio ativo base de diversos herbicidas registrado para pastagens no Brasil, pertencente ao grupo dos mimetizadores de auxinas, ou reguladores de crescimento, que provocam o crescimento desorganizado das células dos tecidos vegetais, turgescência e rompimento das células (CARMO et al. 2008; FRANCO et al., 2014). Sendo altamente eficaz no controle de muitas plantas daninhas perenes, plantas venenosas, arbustos e outras espécies

lenhosas (VALLE, 2010). É muito utilizado em pós-emergência das plantas daninhas, principalmente em dicotiledôneas (PINHO et al., 2007), apresentando uma maior persistência residual no solo que os demais herbicidas registrados para pastagem no Brasil (PROCOPIO, 2008).

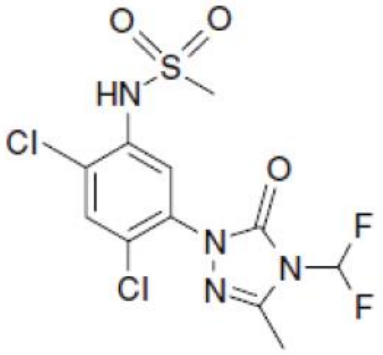
Tal peculiaridade restringe o cultivo de diferentes espécies de dicotiledôneas, como, algodão, tomate, batata, feijão, soja, café, eucalipto e hortaliças, em áreas que tenham sido utilizado o herbicida a curto e a médio prazo, inviabilizando a área para produção (PROCOPIO, 2008).

2.2 SULFENTRAZONE

O princípio ativo sulfentrazone, (N-[2,4-dicloro-5-[4-(diflurometil)-4,5-di-hidro-3-metil-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-il]fenil]metanosulfonamida) é um dos herbicidas registrados para várias culturas que são cultivadas no Brasil, como abacaxi, café, cana-de-açúcar, citros, eucalipto, fumo e soja (AGROFIT, 2017). O sulfentrazone é um herbicida classificado como inibidor da Protox (protoporfirinogênio oxidase) do grupo das triazolinonas, registrado para aplicação em pré ou pós emergência das plantas daninhas, realizando o controle de folhas largas e gramíneas (Belo et al., 2011).

Apresenta solubilidade de 780 mg L^{-1} (pH 7), pressão de vapor de 1 x 10^{-9} mmHg a 25ºC, constante de dissociação (pKa) igual a 6,56, coeficiente de partição (Kow) 9,8 em pH =7 (BLANCO et al., 2005), solubilidade em água de 400 mgL^{-1} (25°C), ponto de fusão entre 121-123 °C, fórmula molecular $C_{10}H_{10}N_4O_3F_3SCl_2$ (CHEN, 2003), apresentando a fórmula estrutural representada na figura 2.

Figura 2: Fórmula estrutural da molécula de sulfentrazone.



Fonte: CHEN (2003).

O sulfentrazone apresenta algumas características peculiares que o diferencia dos outros produtos usados para realizar o controle de plantas daninhas, tais como, elevados índices de seletividade, um amplo espectro de ação e grande eficiência em seu uso. Possuindo um longo período de meia vida no solo, característica essa que permite a realização de poucas aplicações do herbicida para controle das plantas invasoras indesejadas, levando o produtor a ter um custo reduzido no controle químico (MADALÃO et al., 2015).

A absorção do sulfentrazone ocorre através do sistema radicular das plantas tendo pequena translocação através do floema, atuando nas plantas por um processo de ruptura que ocorre na membrana celular, causando rápida dessecação da parte área em sua emergência (RODRIGUES et at., 2005).

2.3 FITORREMEDIAÇÃO

Na busca de alternativas para remediar áreas contaminadas com diferentes resíduos, tem-se optado pela realização da fitorremediação, que apresenta grande eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, menor tempo demandado pelo processo e menor custo (PIRES et al. 2003). Consiste na capacidade que algumas espécies vegetais possuem de acelerar a retirada de compostos tóxicos, realizando degradação, extração, contenção ou imobilização dos contaminantes, tais como, herbicidas, do ambiente (solo e água), promovendo sua descontaminação (CUNNINGHAM, 1996; VASCONCELOS et al., 2012).

A técnica de fitorremediação está se tornando umas das principais alternativas para realização da descontaminação de áreas com substâncias orgânicas ou inorgânicas, como metais pesados, elementos contaminantes, hidrocarbonetos de petróleo, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria (CUNNINGHAM, 1996).

De acordo com Pires et al. (2003) na Europa e Estados Unidos a fitorremediação vem sendo bastante estudada e divulgada. Segundo Pires et al. (2003) ao estudar contaminantes orgânicos, como os herbicidas, encontram-se maiores obstáculos, em razão da diversidade molecular, da complexidade de análise e das constantes transformações a que estão sujeitos. Assim, as pesquisas em áreas com solo contaminados por algum tipo de substancia orgânica estão aumentando, exigindo a utilização de técnicas especializadas e de custo elevado (PIRES, 2003).

Segundo Silva (2012), a utilização da fitorremediação apresenta algumas restrições, desvantagens e riscos, como, dificuldade na seleção de plantas para fitorremediação, o contaminante deve estar dentro da zona de alcance do sistema radicular, necessidade de

disposição da biomassa vegetal, entre outras desvantagens. Silva, (2012), ainda relata que a técnica de fitorremediação por ser de baixo custo de aplicação se torna uma grande vantagem a sua utilização, e o tempo gasto para obtenção de um resultado satisfatório é variável, em função do ciclo da espécie fitorremediadora utilizada para fitorremediar (SILVA, 2012).

A fitorremediação de solos contaminados com herbicidas é dependente da interação entre três fatores: fisiologia da planta, características físico-químicas do solo e composição química do herbicida. Podendo 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 micro-organismos 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.

Para uma maior efetividade do processo de fitorremediação de herbicidas no solo inicia-se desde a escolha e a forma de aplicação do método, levando em conta o tipo de contaminante, bem como, o meio em que esse está presente. Dependendo diretamente do tipo de solo se ele será capaz de absorver e sequestrar tais moléculas contaminantes (VASCONCELOS et al., 2012).

Uma das características necessárias para a realização da fitorremediação, é selecionar espécies remediadoras que sejam tolerantes a altos níveis do contaminante no ambiente a ser remediado. Tal tolerância pode ser resultante de processos como a translocação diferencial de compostos orgânicos para outros tecidos da planta, com subsequente volatilização, ou da degradação parcial ou completa, com transformação em compostos menos tóxicos, combinados e/ou ligados nos tecidos das plantas (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000).

Para uma espécie ser considerada uma boa fitorremediadora, ela deve ser capaz de crescer e desenvolver na presença de elevado nível de contaminação, sem que ocorra algum problema fisiológico na espécie usada. 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 FITORREMEDIADORAS

2.4.1 *Calopogonium mucunoides*

O calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) é uma espécie pertencente à família das Fabaceae, sendo nativa do trópico brasileiro, muito utilizado como adubação verde. É considerada uma herbácea, apresentando hábito de crescimento prostrado, com caules finos, flexíveis e recoberto por tricomas de coloração ferruginosa, sendo considerada uma cultura perene, tendo grande capacidade de se desenvolver em condições adversas, como solos com acidez elevada e baixa fertilidade, além de apresentar alta tolerância ao alumínio (CARVALHO, 1985).

Segundo Pizzaro et al. (1996) pode chegar a produzir cerca de 25 ton $ha^{-1}ano^{-1}$, apresentando de 16 a 18% de proteína bruta na matéria seca. Sendo muito utilizada no consórcio com gramíneas para alimentação de bovinos, tendo um bom desenvolvimento com várias espécies como *Brachiaria decumbens*, desta forma os bovinos preferem se alimentar das gramíneas em consórcio com o calopogônio no período seco, podendo ser oferecido como feno. E é utilizada na adubação verde, como forrageira e fenação, sendo indicada como um potencialidade de fixar nitrogênio (VASCONCELOS, 2015).

Madalão et al. (2013) relata que *Calopogonium mucunoides* possui certa resistência e capacidade de realizar a remediação de herbicidas em solos com menores dosagem, já solos com dosagens mais altas seu desenvolvimento é reduzido ou até mesmo não acontece.

2.4.2 *Canavalia ensiformis*

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

É uma planta, ereta e anual, herbácea, desenvolve-se bem em solos ácidos, fornece uma boa cobertura em virtude do tamanho de suas folhas apresentando 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, podendo ter uma altura de dossel em torno de 0,8 a 1,0 m, chegando a uma produção de cinco a oito ton.ha^{-1} de matéria seca (MATEUS et al., 2006; MAZZUCO, 2008).). Suas sementes apresentam coloração branca e são graúdas, embora não sejam indicadas para consumo humano e animal, pois contêm fatores antinutricionais, se destacando pela ação alelopática no controle de infestantes, principalmente da tiririca (*Cyperus rotundus*) (MATEUS et al., 2006).

As raízes das plantas, apresentam 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 atinge estágio de formação de vagem, são cortadas e incorporadas 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).

Em estudos realizado por Belo et al. (2007), Monquero et al. (2013) ressalta o potencial que *C. ensiformis* possui de remediar solos contaminados com resíduos de herbicidas de sulfentrazone e diclosulam, sendo muito utilizada em trabalhos sobre fitorremediação.

2.4.3 *Dolichos lablab*

O labelabe (*Dolichos lablab* L.), é uma planta anual ou bianual pertencente à família Fabaceae, de origem africana, cultivada amplamente em regiões pan-tropicais. É uma planta robusta de hábito de crescimento indeterminado 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 (MATEUS et al., 2006; SOUZA, 2014).

É considera umas das principais espécies usadas como adubação verde, pelas características de tolerância às geadas, pode atingir altura de 0,5 a 1,0 m, crescimento rápido, sistema radicular denso e profundo e tem potencial de produção de massa seca de cinco a sete ton.ha^{-1}, sendo muito usada como plantas para a cobertura de solo, com grande potencial a ser uma espécie de planta fitorremediadora (PROCÓPIO, 2004; MATEUS et al., 2006).

Nos trabalhos realizados por Belo et al. (2011), Madalão et al. (2013) o *D. lablab* apresentou tolerância aos herbicidas estudados naquela ocasião, sendo uma espécie recomendada como fitorremediadora.

2.5 CUCUMIS SATIVUS

O pepino (*Cucumis sativus* L.), é uma espécie pertencente à família Cucurbitaceae, sendo uma hortaliça difundida em todo o mundo. Tendo seu cultivo distribuído por vários estados brasileiros, sendo os principais São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Bahia (SALATA, 2010). Com uma produção anual de cerca de 200.000 t. sendo a região Sudeste a responsável por mais de 50% do total da produção (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2013).

É uma espécie que não tolera cultivo em baixas temperaturas, tendo melhores desempenhos para locais com temperaturas superiores a 20ºC, característica essa que fez com que produtores brasileiros se adaptassem a realizar o cultivo do pepino em ambientes protegidos, proporcionando melhores condições para seu desenvolvimento. Tendo grande participação na comercialização de hortaliça no Brasil, sendo consumida na forma crua ou em conservas (SALATA, 2010).

Planta anual, com hábito de crescimento indeterminado, podendo chegar a cerca de três metros de comprimento, tendo assim que realizar sua condução verticalmente com auxílios de fitilhos ou bambus. Apresentando gavinhas, folhas alternadas, ásperas e de coloração verde

escura, o sistema radicular é superficial e axial, alcançando cerca de 30 cm de profundidade (FILGUEIRA, 2003; SALATA, 2010).

Apresenta hábito de florescimento predominantemente monóico, ginóicos em alguns tipos de híbridos, desenvolvendo quase exclusivamente flores femininas. É uma espécie alógama, com polinização entomófila, normalmente polinizada por abelhas (FILGUEIRA, 2003).

O fruto é uma baga de crescimento rápido, com três a cinco lóculos, coloração variando de verde-claro a escuro, com acúleos moles, podendo apresentar frutos cilíndricos ou mais afilados e alongados dependendo do grupo cultivado (SALATA, 2010).

As Cucurbitaceae principalmente o pepino, já vem sendo utilizados por Santos et at., (2007), Oliveira Júnior et al., (2007), como planta bioindicadora de solos contaminados por herbicidas por ser altamente sensível a pequenas dosagens, principalmente herbicidas a base de auxinas e picloram, onde é possível visualizar facilmente a intoxicação por eles (SANTOS et al., 2013).

2.6 SORGHUM BICOLOR

O sorgo *(Sorghum bicolor)* é uma espécie originária da África, possui adaptação a diferentes condições ambientais desfavoráveis em relação à maioria dos cereais. Característica esta, por ser uma planta que possui metabolismo C4, sendo espécie de dias curtos e com alta taxa fotossintética, motivo esse que é uma espécie que é plantada em diversas regiões do mundo (OLIVEIRA, 2015).

É considerada uma planta tolerante a altas temperaturas e à seca, sendo as melhores condições térmicas entre 26 e 30º C, apresenta sistema radicular profundo e ramificado, o que aumenta a eficiência na extração de água da solução de solo. As folhas possuem um bom sistema de transpiração que evita a perda de água, característica de plantas de metabolismo C4 (ROSA, 2012).

Alguns fatores como temperatura, radiação solar e precipitação, influenciam diretamente no desenvolvimento do sorgo, influenciando na produção de grãos e matéria seca, podendo afetar a taxa de crescimento e desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA, 2015).

O sorgo é uma espécie de gramínea que pode substituir o milho em forma de rações concentradas, misturas proteinadas ou silagem, por ser altamente tolerante aos veranicos e a elevadas temperaturas (OLIVEIRA, 2015).

A escolha pela a utilização do sorgo como planta bioindicadora, é devido a trabalhos realizado por Belo et at. (2011), onde se percebeu como é altíssima a intoxicação do sorgo, milheto entre outras gramíneas, ao herbicida sulfentrazone, sendo muito utilizada como bioindicadoras de solos contaminados por sulfentrazone.

3. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista (18° 55' 182"S, 42° 75' 349" W e altitude de 720 m) entre os meses de abril a agosto de 2017. Foram conduzidos dois trabalhos para avaliação de três espécies de adubos verdes quanto à tolerância ao herbicida picloram e sulfentrazone. As espécies utilizadas foram *Calopogonium mucunoides, Canavalia ensiformis e Dolichos lablab*.

O delineamento adotado nos dois experimentos foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 4 x 3, sendo quatro doses de herbicidas e três comunidades de plantas, com cinco repetições. Foram utilizadas doses crescentes do herbicida (0; 1,0; 2,0 e 4,0 $l.ha^{-1}$), tomando como base a dosagem comercial de 2,0 $l.ha^{-1}$.As comunidades foram representadas pela Comunidade 1 – espécies de adubos verdes; Comunidade 2 – espécies espontâneas do banco de sementes do solo; Comunidade 3 – solo mantido sem espécies vegetais. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso de polietileno com furos na parte inferior, preenchidos com 25 dm^3 de solo.

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 posteriormente analisada quimicamente 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
	--$mg.dm^{-3}$ --		---------- cmolc.dm^{-3} ----------							----- % ---		-- $dag.kg^{-1}$--	
5,9	18,64	60	2,05	0,95	0	2,03	3,15	3,15	5,18	60,83	0	0,87	42,94

Após o enchimento e umedecimento dos vasos, foi aplicado em pré-emergência o herbicida picloram e sulfentrazone, 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 150 $l.ha^{-1}$. A aplicação do picloram foi realizada do lado externo da casa de vegetação para redução dos riscos de deriva do herbicida e contaminação do solo

utilizado no experimento com sulfentrazone. A barra do pulverizador foi posicionada 0,5 m acima da borda superior dos vasos.

Após 72 h da aplicação dos herbicidas os vasos foram arranjados em blocos no interior da casa de vegetação onde foram mantidos até o final do experimento.

Todas as espécies foram semeadas três dias após a aplicação dos herbicidas, sendo utilizadas cinco sementes de cada espécie. Após a germinação foram desbastadas, deixando apenas uma planta de *Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab* e *Calopogonium mucunoides*, formando assim a comunidade de espécies fitorremediadoras. A escolha das espécies foi baseada em experimentos preliminares de tolerância aos herbicidas (CARMO et al., 2008a; BELO et al., 2011).

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 fresca e seca da parte aérea das espécies vegetais (MFPA e MSPA). Para determinar a massa 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 de 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. Também foi realizado a movimentação dos vasos de cada bloco a cada cinco dias para evitar o máximo de interferência externa, devido às condições da casa de vegetação não apresentar uniformidade quanto a radiação e temperatura interna. A irrigação foi realizada manualmente em pratos na base dos vasos e monitorada diariamente irrigando somente os vasos que apresentavam os pratos secos.

Após a coleta das plantas fitorremediadoras foi realizado cálculos de adubação segundo RIBEIRO et al. (1999) para atender as exigências da cultura do pepino, (FILGUEIRA et al., 1999) e do sorgo (ALVES et al., 1999).

A adubação para a cultura do pepino, foi realizada com 3,40 g.vaso^{-1} de $(NH_2)_2CO$, 16,66 g.vaso^{-1} de P_2O_5 e 5,39 g.vaso^{-1} de KCl, já para a cultura do sorgo a adubação foi 0,56 g.vaso^{-1} de $(NH_2)_2CO$, 5,55 g.vaso^{-1} de P_2O_5 e 1,5 g.vaso^{-1} de KCl. Logo após a adubação foram semeadas as sementes pepino (duas sementes por vaso), espécie sensível ao picloram, e sementes de sorgo (dez sementes por vaso), espécie sensível ao sulfentrazone. Foi avaliado o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) da espécies sensíveis com os dados referentes ao número de plântulas germinadas até os 20 DAS.

Aos 15, 30 e 45 DAS, as espécies sensíveis foram avaliadas quanto aos 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 massa 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 PICLORAM

4.1.1 Fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras

Houve efeito significativo das fitorremediadoras, efeito de dose e efeito da interação dose x fitorremediadora sobre no índice de fitotoxicidade das plantas ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.

		QM
FV	**GL**	**TOXICF (%)**
Bloco	4	3455,7778
Dose	3	47265,4152*
Fito	2	13890,9369*
Tempo	2	638,6351^{ns}
Dose x Fito	6	1432,0367*
Dose x Tempo	6	498,1788^{ns}
Fito x Tempo	4	1123,4467^{ns}
Dose x Fito x Tempo	12	559,0300^{ns}
Erro	140	497,8314
Total	179	
CV (%)		49,49

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; TOXICF: Toxidade do herbicida nas fitorremediadoras.

O índice de toxicidade das fitorremediadoras *D. lablab*, *C. ensiformis* e *C. mucunoides* foi maior para a dose de 2 l.ha^{-1} (Tabela 4), observando que para a *C. ensiformis* o nível de intoxicação foi menor que as demais espécies utilizadas, sendo que *D. lablab* apresentou 88,65% a mais de toxicidade e o *C. mucunoides* 85,98% em relação ao *C. ensiformis*.

Tabela 4 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.

TRATAMENTOS (l.ha^{-1})	***Dolichos lablab***	***Canavalia ensiformis***	***Calopogonium mucunoides***
0	22,40 Ab	1,07 Aa	1,09 Aa
1	38,33 Aa	19,33 Aa	27,09 Ba
2	92,44 Bb	49,00 Ba	91,13 Db
4	86,11 Bb	48,33 Ba	64,71 Ca

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

Ao analisar o efeito da interação dose x tempo foi encontrado que para a dose de 1 l.ha^{-1}, as comunidades utilizadas conseguiram promover uma redução do nível de toxidade com o decorrer do tempo. Já as dose de 2 e 4 l.ha^{-1}, o mesmo não ocorreu, tendo um aumento gradativo com o decorrer do tempo, mostrando que com uma dose maior do herbicida aplicada ao solo o seu efeito persiste por maior tempo maior no solo (Tabela 5).

Tabela 5 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram ao 15, 30 e 45 dias após o plantio.

TRATAMENTOS (l.ha^{-1})	15 Dias	30 Dias	45 Dias
0	9,80 Aa	12,76 Aa	2,00 Aa
1	21,96 Aa	38,24 Ba	24,56 Ba
2	72,78 Ba	76,24 Ca	83,56 Ca
4	64,00 Ba	67,12 Ca	68,04 Ca

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

Aos 15, 30 e 45 dias a maior tolerância para o picloram foi verificada em C. *ensiformes* e *C. mucunoides* onde não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 6). Sendo que *C. ensiformes* foi mais tolerante que a *C. mucunoides* se comparada aos 30 dias apresentando 26,05% de intoxicação para *C. ensiformes* e 48,35% para *C. mucunoides,* 85,6% superior *C. mucunoides* a *C. ensiformes.*

Tabela 6 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram aos 15, 30 e 45 dias após o plantio.

Fitorremediadoras	*15 Dias*	*30 Dias*	*45 Dias*
Dolichos lablab	51,22 Ba	71,37 Cb	56,88 Bab
Canavalia ensiformis	34,15 Aa	26,05 Ba	28,10 Aa
Calopogonium mucunoides	41,03 ABa	48,35 Aa	48,63 Ba

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

Resultados semelhantes foram observados por Santos (2006) em que a espécie *C. ensiformis* manifestou os menores sintomas de fitotoxicidade ao herbicida trifloxysulfuron–sodium, sendo selecionada com potencial para fitorremediação. Carmo et al. (2008a) encontrou em seu trabalho resultados semelhantes, comparando as leguminosas mucuna-preta e feijão-de-porco, observou que o feijão-de-porco tolera melhor a presença do herbicida picloram, pois o mesmo manifestou menores valores de fitotoxicidade, sendo considerada como potencial para fitorremediação.

4.1.2 Altura das plantas de fitorremediadoras

Houve efeito de dose e espécies na altura das plantas fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 7). Nas doses 0 e 1 l.ha^{-1} ocorreram as maiores alturas em relação às doses de 2 e 4 l.ha^{-1}, (Tabela 8). A *Canavalia ensiformis* apresentou maior crescimento em relação às demais fitorremediadoras, sendo a única que se desenvolveu para a dose de 2 l.ha^{-1}, apresentando uma altura de 38,72 cm (Tabela 8), provavelmente por tolerar os níveis de resíduos do herbicida no solo.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância da altura avaliada das fitorremediadoras cultivadas em solos contaminados por picloram.

		QM
FV	**GL**	**ALTF**
Bloco	4	321,7928
Dose	3	6712,9845*
Fito	2	21532,4410*
Dose x Fito	6	1014,1989^{ns}
Erro	44	554,3439
Total	59	
CV (%)		65,00

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; ALTF: Altura da parte aérea das fitorremediadoras.

Tabela 8 - Altura das plantas fitorremediadoras cultivadas em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.

TRATAMENTOS (l.ha^{-1})	**ALTF, (cm)** *Dolichos lablab*	**ALTF, (cm)** *Canavalia ensiformis*	**ALTF, (cm)** *Calopogonium mucunoides*
0	56,50 Bb	105,36 Cc	19,48 Aa
1	22,97 ABa	92,72 BCb	22,50 Aa
2	0,00 Aa	38,72 Ab	0,00 Aa
4	0,00 Aa	59,20 ABb	17,25 Aa

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

Resultado semelhante foi observado por Santos (2004), onde a *Canavalia ensiformis* obteve um desenvolvimento em altura superior as demais plantas utilizadas *(Calopogonium mucunoides, Crotalaria juncea, Crotalaria spectabilis, Vicia sativa, Cajanus cajan, Helianthus annus, Dolichus lablab, Pennisetum glaucum, Stylosantes guianensis, Mucuna deeringiana, Mucuna cinereum, Mucuna aterrima, Raphanus sativus e Lupinus albus),* supondo uma maior tolerância da espécie ao herbicida trifloxysulfuron-sodium no solo.

4.1.3 Diâmetro de caule das plantas de fitorremediadoras

Foi observado efeito de dose e fitorremediadora no diâmetro das plantas fitorremediadoras, ocorrendo interação entre os dois fatores analisados ($p < 0,05$) (Tabela 9).

Tabela 9 - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivadas em solos contaminados por picloram.

		QM
FV	**GL**	**DIÂMETRO (mm)**
Bloco	4	0,6023
Dose	3	17,0449*
Fito	2	111,2107*
Dose x Fito	6	3,6385*
Erro	44	0,2662
Total	59	
CV (%)		18,61

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; ALTP: Altura da parte aérea das fitorremediadoras.

Nas doses 0 e 1 l.ha^{-1} ocorreram os maiores diâmetro em relação às doses de 2 e 4 l.ha^{-1} (Tabela 10), mostrando que não foi suficiente para afetar o desenvolvimento das plantas principalmente a *Canavalia ensiformis.* Que apresentou maior crescimento em relação às demais fitorremediadoras, sendo a única que se desenvolveu para a dose de 2 l.ha^{-1}, apresentando diâmetro de 4,20 mm (Tabela 10).

Tabela 10 - Diâmetro das plantas fitorremediadoras cultivadas em solo tratado com doses crescentes do herbicida picloram.

TRATAMENTOS (l.ha^{-1})	**DIÂM, (mm)** *Dolichos lablab*	**DIÂM, (mm)** *Canavalia ensiformis*	**DIÂM, (mm)** *Calopogonium mucunoides*
0	3,33 Bb	6,30 Cc	1,30 Ba
1	2,67 Ba	6,10 BCb	2,00 Ba
2	0,00 Aa	4,20 Ab	0,00 Aa
4	0,00 Aa	5,38 Bc	2,00 Bb

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

Houve efeito significativo dentro das doses utilizadas analisando as espécies isoladamente, sendo observado para a *Canavalia ensiformis* um diâmetro de 5,38 mm para a dose de 4 l.ha^{-1}, já na dose de 2 l.ha^{-1} apresentou 4,20 mm, sendo que na maior dose utilizada o diâmetro foi superior em 28,10 % (Tabela 10).

4.1.4 Massa fresca e seca da parte aérea das leguminosas

Foi observado efeito de dose e efeito da interação entre dose e fitorremediadora sobre o acúmulo da MFPA e MSPA dos adubos verdes ($p < 0,05$) (Tabela 11).

Tabela 11 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras picloram.

		QM	
FV	**GL**	**MFPAF**	**MSPAF**
Bloco	4	296,7878	12,3982
Dose	3	979,2977*	37,0099*
Fito	2	17601,0891*	484,0666*
Dose x Fito	6	476,3286*	17,2148*
Erro	44	195,3974	7,2376
Total	59		
CV (%)		68,91	77,41

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.

Na dose de 1 l.ha^{-1}, observou-se maior acúmulo de massa de matéria fresca e seca para a *Canavalia ensiformis* e *Calopogonium mucunoides*, com o *Dolichos lablab* apresentando maior acumulo na testemunha (Tabela 12). Dentre as fitorremediadoras, a *Canavalia ensiformis* acumulou 70,45 g.planta^{-1} de massa fresca. Essa produção foi 26,10x superior para o *Dolichos lablab* e 15,32x superior para o *Calopogonium mucunoides* (Tabela 12). Para a produção de massa seca foi observado que a fitorremediadora, *Canavalia ensiformis* acumulou 11,90

g.planta^{-1} de massa seca. Essa produção foi 32,16x superior para o *Dolichos lablab* e 16,30x superior para o *Calopogonium mucunoides* (Tabela 13).

Tabela 12 - Acumulo de massa fresca da parte aérea de fitorremediadoras cultivadas em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida picloram.

TRATAMENTO (l.ha^{-1})	**MFPAF, (g)** *Dolichos lablab*	**MFPAF, (g)** *Canavalia ensiformis*	**MFPAF, (g)** *Calopogonium mucunoides*
0	12,80 Aa	66,66 Ab	2,56 Aa
1	2,70 Aa	70,45 ABb	4,60 Aa
2	0,00 Aa	29,48 Bb	0,00 Aa
4	0,00 Aa	51,53 Bb	2,65 Aa

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

Tabela 13 - Acumulo de massa seca da parte aérea de fitorremediadoras cultivadas em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida picloram.

TRATAMENTOS (l.ha^{-1})	**MSPAF, (g)** *Dolichos lablab*	**MSPAF, (g)** *Canavalia ensiformis*	**MSPAF, (g)** *Calopogonium mucunoides*
0	3,18 Aa	11,65 Bb	0,40 Aa
1	0,37 Aa	11,90 Bb	0,73 Aa
2	0,00 Aa	4,54 Ab	0,00 Aa
4	0,00 Aa	8,50 ABb	0,43 Aa

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

O feijão-de-porco teve melhor adaptação às condições de cultivo na casa de vegetação com maior capacidade de crescimento na presença de resíduos do picloram, indicando potencial para fitorremediação desse herbicida.

Santos et al. (2004), encontrou em seus trabalhos que a *M. aterrima* e *C. ensiformis* foram as espécies mais eficientes na fitorremediação do herbicida *trifloxysulfuron sodium,* sobressaindo em relação as *Calopogonium mucunoides, Crotalaria juncea, Crotalaria spectabilis, Vicia sativa, Cajanus cajan, Helianthus annus, Dolichus lablab, Pennisetum glaucum, Stylosantes guianensis, Mucuna deeringiana, Mucuna cinereum, Raphanus sativus e Lupinus albus.*

Procópio et al. (2008), Carmo et al. (2008b), observaram que o capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*) e *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia), foram eficientes para a fitorremediação de solos contaminados por picloram.

4.1.5 Índice de velocidade de germinação do pepino (IVG)

Não foi observada influência das doses do herbicida, fitorremediadoras e interação entre dose e fitorremediadora no índice de velocidade de germinação do pepino ($p < 0,05$) (Tabela 14). Observou-se uma tendência à redução no IVG das plantas submetidas à aplicação de doses crescentes do picloram. Portanto, os resíduos de picloram presentes no solo não alteraram a

velocidade de germinação das sementes do pepino, denotando um possível potencial das fitorremediadoras para extração do herbicida, podendo observar que não ocorreu diferenças significativas entre as médias na comunidade de adubos verdes, comunidade nativa e comunidade capinada (Tabela 15).

Tabela 14 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do pepino cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas.

		QM
FV	**GL**	**IVG**
Bloco	4	15,8906
Dose	3	9,6172^{ns}
Trat	2	2,2062^{ns}
Dose x Trat	6	29,5657^{ns}
Erro	44	17,9337
Total	59	
CV (%)		38,83

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

Tabela 15 – Índice de velocidade de germinação do pepino cultivado em sucessão as diferentes comunidades de plantas.

Comunidades	**IVG**
Comunidade adubo verde	11,11 a
Comunidade nativa	10,52 a
Comunidade capinada	11,09 a

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

4.1.6 Matéria fresca e seca da parte aérea do pepino

Não foi observado efeito de dose, fitorremediadora e da interação entre dose e comunidades de plantas sobre o acúmulo da MFPA e MSPA do pepino ($p < 0,05$) (Tabela 16).

Tabela 16 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do pepino cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas.

		QM	
FV	**GL**	**MFPAP**	**MSPAP**
Bloco	4	862,6959	5,5730
Dose	3	389,3315^{ns}	1,8533^{ns}
Trat	2	15,5093^{ns}	0,4809^{ns}
Dose x Trat	6	205,0794^{ns}	2,3100^{ns}
Erro	44	339,5990	2,0697
Total	59		
CV (%)		60,98	62,35

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; MFPAP: Massa fresca parte aérea do pepino; MSPAP: Massa Seca da parte aérea do pepino.

A produção média de massa fresca e seca da parte aérea do pepino foi de 29,22 g.planta^{-1} e 2,27 g.planta^{-1} para a comunidade de adubo verde, de 30,86 g.planta^{-1} e 2,48 g.planta^{-1} e para a comunidade nativa e de 30,59 g.planta^{-1} e 2,18 g.planta^{-1}, respectivamente (Tabela 17), não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Esse resultado demonstra que a

comunidade de adubos verdes e a comunidade nativa foram eficientes na extração de resíduos do picloram, sendo o mesmo efeito observado na comunidade capinada, não promovendo alterações no crescimento do pepino.

Tabela 17 - Massa fresca da parte aérea do pepino (MFPAP) e médias da massa seca da parte aérea do pepino (MSPAP) cultivados em sucessão a diferentes comunidades de plantas.

Comunidades	MFPAP (g)	MSPAP (g)
Comunidade adubo verde	29,22 a	2,27 a
Comunidade nativa	30,86 a	2,48 a
Comunidade capinada	30,59 a	2,18 a

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

A não interferência da comunidade capinada sobre o acúmulo de massa na cultura do pepino pode ser atribuída ao fato dos resíduos do picloram estarem sorvidos aos colóides do solo, ocorrendo a influência dos atributos do solo nas constantes de sorção e dessorção desse herbicida, permitindo o desenvolvimento de culturas sensíveis (PASSOS, 2015).

4.2.2 Altura das fitorremediadoras

Houve efeito de dose e espécies na altura das plantas fitorremediadoras, apresentando resultado significativo também na interação dose x fitorremediadora ($p < 0,05$) (Tabela 22).

Tabela 18 - Resumo da análise de variância da altura avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone.

		QM
FV	**GL**	**ALTF**
Bloco	4	1443,5426
Dose	3	10148,0487*
Fito	2	62989,6935*
Dose x Fito	6	3804,2267*
Erro	44	1054,1871
Total	59	
CV (%)		38,66

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; ALTF: Altura da parte aérea das fitorremediadoras.

Na dose de 4 $l.ha^{-1}$ ocorreu a maior altura para a *Canavalia ensiformis* em relação às outras doses utilizadas, apresentando 160,32 cm de altura, sendo 7,71% superior a dose de 2 $l.ha^{-1}$ (Tabela 23). Esse fato demonstra a capacidade de remediar o resíduo do herbicida pelas fitorremediadoras, principalmente da *Canavalia ensiformis* que apresentou maior crescimento em relação às demais fitorremediadoras.

Tabela 19 - Altura das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS $l.ha^{-1}$	**ALTF, (cm)** *Dolichos lablab*	**ALTF, (cm)** *Canavalia ensiformis*	**ALTF, (cm)** *Calopogonium mucunoides*
0	38,48 Aa	92,78 Ab	17,75 Aa
1	138,07 Bb	137,46 ABb	28,65 Aa
2	135,00 Bb	147,96 Bb	37,10 Aa
4	63,12 Ab	160,32 Bc	11,10 Aa

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

Já o *Dolichos lablab* na dose de 1 $l.ha^{-1}$ não teve diferença significativa para a dose de 2 $l.ha^{-1}$, com 138,07 cm e 135,00 cm de altura respectivamente, sendo que a altura das plantas para a dose de 1 $l.ha^{-1}$ foi 72,13% superior que a testemunha e 54,28% superior que a dose de 4 $l.ha^{-1}$. Já o *Calopogonium mucunoides* não apresentou diferença significativas em sua altura (Tabela 23).

Belo et al. (2011) relata o potencial das espécies *C. ensiformis* e *Dolichos lablab*, como espécies com potencias de fitorremediação, em relação ao herbicida sulfentrazone. Conclui-se também que, à medida em que as plantas crescem, sua capacidade de remediar é aumentada, notadamente pela maior capacidade de absorção (MADALÃO et al; 2012).

4.2 SULFENTRAZONE

4.2.1 Fitotoxicidade das espécies fitorremediadoras

Houve efeito significativo das fitorremediadoras, efeito de dose e efeito da interação dose x fitorremediadora no índice de fitotoxicidade das plantas ($p < 0,05$) (Tabela 18).

Tabela 20 - Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

		QM
FV	**GL**	**TOXICF (%)**
Bloco	4	4824,5095
Dose	3	42131,8918*
Fito	2	19329,6326*
Tempo	2	$994,8019^{ns}$
Dose x Fito	6	1223,9662*
Dose x Tempo	6	$317,3842^{ns}$
Fito x Tempo	4	$1334,2737^{ns}$
Dose x Fito x Tempo	12	$321,2645^{ns}$
Erro	140	563,1192
Total	179	
CV (%)		50,71

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; TOXICF: Toxidade do herbicida nas fitorremediadoras.

O índice de toxicidade das fitorremediadoras *D. lablab, C. ensiformis* e *C. mucunoides* foi superior para a dose de 2 l.ha^{-1} (Tabela 19). Observando que para a *C. ensiformis* o nível de intoxicação foi menor que as demais espécies utilizadas, sendo que *D. lablab* apresentou 88,65% a mais de toxidade e o *C. mucunoides* 83,27% em relação ao *C. ensiformis.*

Tabela 21 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS (l.ha^{-1})	***Dolichos lablab***	***Canavalia ensiformis***	***Calopogonium mucunoides***
0	28,96 Ab	1,07 Aa	1,09 Aa
1	53,60 Bb	19,33 Aa	27,09 Ba
2	92,44 Cb	49,00 Ba	89,80 Db
4	86,11 Cb	48,33 Ba	64,71 Ca

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

Ao analisar o efeito da interação dose x tempo foi observado para as dosagens de 1, 2 e 4 l.ha^{-1} um aumento gradativo na intoxicação com o decorrer do tempo, mostrando que com uma dose maior aplicada seu efeito persiste por um maior tempo no solo (Tabela 20).

Tabela 22 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS (l.ha^{-1})	**15 Dias**	**30 Dias**	**45 Dias**
0	9,80 Aa	12,76 Aa	8,56 Aa
1	21,96 Aa	38,24 Ba	39,82 Ba
2	72,78 Ba	76,24 Ca	82,22 Ca
4	64,00 Ba	67,11 Ca	68,04 Ca

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

Ao analisar os dados verificou-se que a C. *ensiformes* e *C. mucunoides* não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, mostrando uma maior tolerância para o sulfentrazone aos 15, 30 e 45 dias (Tabela 21). Sendo que *C. ensiformes* foi mais tolerante que a *C. mucunoides* se comparada aos 30 dias, apresentando 26,05% de intoxicação para *C. ensiformes* e 48,35% para *C. mucunoides*, 85,6% superior em relação ao *C. ensiformes.*

Tabela 23 - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

Fitorremediadoras	**15 Dias**	**30 Dias**	**45 Dias**
Dolichos lablab	51,22 Aa	71,37 Cb	73,25 Cb
Canavalia ensiformis	34,15 Aa	26,05 Aa	28,10 Aa
Calopogonium mucunoides	41,03 Aa	48,35 Ba	47,63 Ba

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

Madalão et al. (2013) encontrou resultados semelhantes, no qual as espécies *C. ensiformis* e *D. lablab* obtiveram os menores sintomas de fitotoxicidade ao herbicida sulfetrazone, sendo selecionadas com potencial para fitorremediação.

Em trabalho realizado por Belo et al. (2011), foi demostrado resultados semelhantes, sendo observado que *C. ensiformis* e *D. lablab* apresentaram tolerância ao sulfentrazone, juntamente com as espécies *H. annus e A. hypogaea*, sendo consideradas com potencial de fitorremediação.

4.2.2 Altura das fitorremediadoras

Houve efeito de dose e fitorremediadora na altura das plantas fitorremediadoras, apresentando resultado significativo também na interação dose x fitorremediadora ($p < 0,05$) (Tabela 22). Na dose de 4 $l.ha^{-1}$ ocorreu a maior altura *Canavalia ensiformis* em relação às outras dosagens utilizadas, apresentando 160,32 cm de altura sendo 7,71% a mais que na dosagem de 2 $l.ha^{-1}$ onde apresentou a segunda maior altura (Tabela 23). Esse fato demonstra a capacidade de remediar o resíduo do herbicida pelas fitorremediadoras, principalmente da *Canavalia ensiformis* que apresentou maior crescimento em relação às demais fitorremediadoras.

Já o *Dolichos lablab* na dosagem de 1 $l.ha^{-1}$ não teve diferença significativa para a dosagem de 2 $l.ha^{-1}$, onde apresentou 138,07 cm e 135,00 cm de altura respectivamente, sendo que a dosagem de 1 $l.ha^{-1}$ foi 72,13% maior que a testemunha e 54,28% que a dosagem de 4 $l.ha^{-1}$. Já o *Calopogonium mucunoides* não apresentou diferença significativas em sua altura.

Belo et al. (2011) relata o potencial das espécies *C. ensiformis* e *Dolichos lab lab*, como espécies com potencias de fitorremediação, em relação ao herbicida sulfentrazone. Concluir-se também que, à medida em que as plantas crescem, sua capacidade de remediar é aumentada, notadamente pela maior capacidade de absorção (MADALÃO et al, 2012).

Tabela 24 - Resumo da análise de variância da altura avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone.

		QM
FV	**GL**	**ALTF**
Bloco	4	1443,5426^{ns}
Dose	3	10148,0487*
Fito	2	62989,6935*
Dose x Fito	6	3804,2267*
Erro	44	1054,1871
Total	59	
CV (%)		38,66

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; ALTF: Altura da parte aérea das fitorremediadoras.

Tabela 25 - Altura das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS $\mathbf{l.ha^{-1}}$	**ALTF, (cm)** *Dolichos lablab*	**ALTF, (cm)** *Canavalia ensiformis*	**ALTF, (cm)** *Calopogonium mucunoides*
0	38,48 Aa	92,78 Ab	17,75 Aa
1	138,07 Bb	137,46 ABb	28,65 Aa
2	135,00 Bb	147,96 Bb	37,10 Aa
4	63,12 Ab	160,32 Bc	11,10 Aa

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

4.2.3 Diâmetro de caule das plantas de fitorremediadoras

Foi observado efeito de dose e fitorremediadora no diâmetro das plantas fitorremediadoras ($p < 0,05$) (Tabela 24), ocorrendo interação entre os dois fatores analisados.

Tabela 26 - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone.

		QM
FV	**GL**	**DIÂMETRO (mm)**
Bloco	4	0,1865
Dose	3	8,0233*
Fito	2	124,2323*
Dose x Fito	6	0,9795*
Erro	44	0,3319
Total	59	
CV (%)		13,01

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; ALTP: Altura da parte aérea das fitorremediadoras.

Na dose de 2 $l.ha^{-1}$ foi observado o maior diâmetro, com 7,50 mm para a *C. ensiformis* sendo 22,67% superior a testemunha, 13,33% superior a dose de 1 $l.ha^{-1}$ e 2,67% superior a dose de 4 $l.ha^{-1}$ (Tabela 25).

Tabela 27 - Diâmetro das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS **(g)**	**DIÂM, (mm)** *Dolichos lablab*	**DIÂM, (mm)** *Canavalia ensiformis*	**DIÂM, (mm)** *Calopogonium mucunoides*
0	3,60 Ab	5,80 Ac	1,25 Aa
1	5,00 Bb	6,50 ABc	2,00 ABa
2	6,00 Cb	7,50 Cc	2,50 Ba
4	4,20 ABb	7,30 BCc	1,50 Aa

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

Houve efeito significativo dentro das doses utilizadas. Observou-se que *Dolichos lablab* apresentou um diâmetro maior na dose de 2 $l.ha^{-1}$, apresentando um diâmetro com 6 mm, sendo 16,67 % superior ao segundo maior diâmetro que foi encontrado na dose de 1 $l.ha^{-1}$. Já a *Canavalia ensiformis* apresentou na testemunha seu menor diâmetro, onde as medias se

diferenciaram entre si pelo o teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde apresentou uma redução no seu diâmetro de 12,07% na dose de 1 l.ha^{-1}, 29,31% na dose de 2 l.ha^{-1}, e uma redução de 25,86% para a dose de 4 l.ha^{-1}. O *Calopogonium mucunoides* apresentou maior diâmetro na dose de 2 l.ha^{-1} sendo um diâmetro 20% superior que o diâmetro da dose de 1 l.ha^{-1} (Tabela 25).

4.2.4 Massa fresca e seca da parte aérea das leguminosas

Foi observado efeito de dose e efeito da interação entre dose e fitorremediadora sobre o acúmulo da MFPA e MSPA dos adubos verdes ($p < 0,05$) (Tabela 26).

Tabela 28 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras sulfentrazone.

		QM	
FV	**GL**	**MFPAF**	**MSPAF**
Bloco	4	162,5677	7,5183
Dose	3	5874,5956*	252,8754*
Fito	2	24550,8872*	1110,9813*
Dose x Fito	6	1413,2331*	118,6285*
Erro	44	262,7944	10,5074
Total	59		
CV (%)		37,92	38,76

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.

Na dose de 2 l.ha^{-1}, observou-se maior acúmulo de massa de matéria fresca para o *Dolichos lablab, Canavalia ensiformis* e *Calopogonium mucunoides* (Tabela 27). Dentre as fitorremediadoras, a *Canavalia ensiformis* acumulou 94,04 g.planta^{-1} de massa fresca. Essa produção foi 16,31% superior para o *Dolichos lablab* e 3,06 vezes superior para o *Calopogonium mucunoides* (Tabela 27). Para a produção de massa seca foi observado que a fitorremediadora, *Canavalia ensiformis* acumulou 18,86 g.planta^{-1} de massa seca na dose de 4 l.ha^{-1}. Essa produção foi 6,14 vezes superior para o *Dolichos lablab* e 83,08 vezes superior para o *Calopogonium mucunoides* (Tabela 27).

Tabela 29 - Acumulo de massa fresca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS (l.ha^{-1})	**MFPAF, (g)** *Dolichos lablab*	**MFPAF, (g)** *Canavalia ensiformis*	**MFPAF, (g)** *Calopogonium mucunoides*
0	6,94 Aa	52,90 Ab	1,93 Aa
1	57,67 Bb	77,62 ABb	3,68 ABa
2	78,70 Bb	94,04 Bb	30,75 Ba
4	15,16 Aa	92,44 Bb	1,20 Aa

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

Tabela 30 - Acumulo de massa seca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS ($\mathbf{l.ha^{-1}}$)	**MSPAF, (g)** *Dolichos lablab*	**MSPAF, (g)** *Canavalia ensiformis*	**MSPAF, (g)** *Calopogonium mucunoides*
0	1,01 Aa	8,46 Ab	0,29 Aa
1	13,27 Bb	15,45 Bb	0,73 Aa
2	19,25 Cb	18,77 Bb	0,94 Aa
4	3,07 Aa	18,86 Bb	0,22 Aa

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.

O feijão-de-porco teve melhor adaptação às condições de cultivo na casa de vegetação com maior capacidade de crescimento na presença de resíduos do sulfentrazone, indicando potencial para fitorremediação desse herbicida.

Belo (2011) e Madalão (2013) observaram que *C. ensiformis* apresentou maior acúmulo de matéria fresca e seca de parte aérea em relação a *D. lablab e C. mucunoides*, para o herbicida sulfentrazone, comprovando a tolerância da *C. ensiformis* à resíduos do herbicidas, característica altamente desejável para uma espécie fitorremediação (BELO, 2011).

Monquero et al. (2013), selecionou *Dolichos lablab, Canavalia ensiformis e Calopogonium mucunoides* como espécies com potencial fitorremediador do diclosulam, herbicida pertencente ao mesmo mecanismo de ação do sulfentrazone.

4.2.5 Índice de velocidade de germinação do sorgo (IVG)

Não foi observada influência das doses do herbicida, fitorremediadoras e interação entre dose e fitorremediadora no índice de velocidade de germinação do pepino ($p < 0,05$) (Tabela 29).

Tabela 31 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do sorgo cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas.

		QM
FV	**GL**	**IVG**
Bloco	4	196,2661
Dose	3	821,0369^{ns}
Trat	2	215,2409^{ns}
Dose x Trat	6	732,0285^{ns}
Erro	44	396,9570
Total	59	
CV (%)		24,24

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

Observou-se uma tendência à redução no IVG das plantas submetidas à aplicação de doses crescentes do sulfentrazone. Portanto, os resíduos de sulfentrazone presentes no solo não alteraram a velocidade de germinação das sementes do sorgo, denotando um possível potencial das fitorremediadoras para extração do herbicida, observando que não ocorreu diferenças significativas entre as médias na comunidade de adubos verdes, comunidade nativa e comunidade capinada (Tabela 30).

Tabela 32 - Índice de velocidade de germinação do sorgo cultivado em sucessão as diferentes comunidades de plantas.

Comunidades	**IVG**
Comunidade adubo verde	85,47 a
Comunidade nativa	82,22 a
Comunidade capinada	78,91 a

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

4.2.6 Matéria fresca e seca da parte aérea do sorgo

Houve efeito de dose sobre o acúmulo da MFPA e MSPA do sorgo ($p < 0,05$), não sendo significativo para tratamento e da interação entre dose e tratamento (Tabela 31).

Tabela 33 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do sorgo cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas.

		QM	
FV	**GL**	**MFPAS**	**MSPAS**
Bloco	4	257,6594	1,9385
Dose	3	2809,8573*	29,8805*
Trat	2	89,0244^{ns}	1,9475^{ns}
Dose x Trat	6	203,1392^{ns}	2,1858^{ns}
Erro	44	92,7433	1,1076
Total	59		
CV (%)		41,00	41,82

ns: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; MFPAS: Massa fresca parte aérea do sorgo; MSPAS: Massa Seca da parte aérea do sorgo.

A produção de massa fresca do sorgo cultivado em sucessão a comunidade de adubos verde foi de 7,06 g na dose de 4 l.ha^{-1}, sendo 29,18% superior a comunidade nativa e 94,05% que a comunidade capinada (Tabela 32).

Tabela 34 - Acumulo de massa fresca da parte aérea do sorgo cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS (l.ha^{-1})	**MFPAS, (g)** Adubo Verde	**MFPAS, (g)** Comunidade Nativa	**MFPAS, (g)** Comunidade Capinada
0	34,86 Ba	32,76 Ba	33,26 Ba
1	37,54 Bb	38,26 Bb	22,42 Ba
2	23,42 Ba	16,38 Aa	30,08 Ba
4	7,06 Aa	5,00 Aa	0,42 Aa

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

Já a produção de massa seca do sorgo em sucessão a comunidade de adubos verde foi de 0,84 g na dose de 4 $l.ha^{-1}$ sendo 23,81% superior a comunidade nativa e 12 vezes que a comunidade capinada (Tabela 33).

Tabela 35 - Acumulo de massa seca da parte aérea do sorgo cultivada em solo tratado com herbicida com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS ($l.ha^{-1}$)	**MSPAS, (g)** Adubo Verde	**MSPAS, (g)** Comunidade Nativa	**MSPAS, (g)** Comunidade Capinada
0	3,88 Ba	3,49 BCa	3,25 Ba
1	4,07 Bb	4,05 Cb	2,30 Ba
2	2,51 ABa	1,91 ABa	3,19 Ba
4	0,84 Aa	0,64 Aa	0,07 Aa

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

Esse resultado demonstra que a comunidade de adubos verdes, proporcionou melhores condições para o desenvolvimento do sorgo, provavelmente por uma maior remediação do herbicida sulfentrazone. Belo et al (2011) em estudos realizados encontrou que *C. ensiformis e D. lablab* são espécies de adubos verdes capazes de realizar um tratamento prévio do solo contaminado por sulfentrazone, propiciando condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura do sorgo.

5. CONCLUSÃO

A *Canavalia ensiformes* foi eficiente na fitorremediação de solos contaminados com picloram.

Não ocorreu diferenças significativas em relação as comunidades: adubos verde, comunidade nativa e comunidade capinada para o picloram.

Para o sulfentrazone a *Canavalia ensiformes e Dolichos lablab* foram as mais eficientes na fitorremediação de solos contaminados.

A comunidade de adubos verdes permitiu maior acúmulo de matéria fresca e seca, além de menor fitotoxicidade nas plantas de sorgo cultivadas em sucessão em solo contaminado por sulfentrazone.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ministério da Agricultura. 2005. AGROFIT. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 19 jul. 2017.

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.

ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E. de. Sugestões de adubação para as diferentes culturas em Minas Gerais. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. **5. Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.325-327.

ASSIS, R.L. de; PROCÓPIO, S. de O.; CARMO, M. L. do; PIRES, F. R.; FILHO, A. C.; BRAZ, G. B. P. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1131–1135, 2010.

BACHEGA, T. F.; PAVANI, M. C. M. D.; ALVES, P. L. C. A.; SAES, L. P.; BOSCHIERO, M. Lixiviação de sulfentrazone e amicarbazone em colunas de solo com adição de óleo mineral. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 363-370, 2009.

BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 693-700, 2005.

BELO, A. F.; COELHO, A. T. C. P.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B. Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 4, p. 821-828, 2011.

CASTRO, D. M.. E. A. Análise da anatomia de foliólulos de sol e de sombra de Canavalia ensiformis (l.) D.C. UFLA. Lavras-MG. 2010.

CARMO, M. L, et al. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. **Planta daninha** vol.26 n.2, p. 301-313, Viçosa Apr./June 2008a.

CARMO, M. L, et al. Influência do período de cultivo de Panicum maximum (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. **Planta daninha** vol.26 n.2, p. 315-322, 2008b.

CARVALHO, M. M de. Melhoramento da produtividade das pastagens através da adubação. **Informe Agropecuário**, v.11, p.23-32. 1985.

CHEN, A. Sulfentrazone. In: LEE, P. W. (Ed). Handbook of Residue Analytical Methods for Agrochemicals. Chichester: John Wiley & Sons, v. 1, 2003, p. 564-577.

CUNNINGHAM, S. D. E. A. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. [S.l.]: **Adv. Agron,** v. 56, 1996. p. 55-114.

D'ANTONINO, L. et al. Lixiviação do picloram em argissolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 589-600, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Disponível em: <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias.html?view=noticia&id=1&idnoticia=3268&busca=1&t=ppm-rebanho-bovino-alcanca-marca-recorde-215-2-milhoes-cabecas-producao-leite>. Acesso em 18 jul. 2017.

FAEP. Federação de Agricultura do Paraná. 2015. Disponível em: <http://www.sistemafaep.org.br/pesquisadores-mapeiam-areas-de-pastagens.html>. Acesso em 18 jul. 2017.

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

FILGUEIRA, F.A.R., FILHO, J. A. de A.; CARRIJO, I. V. Sugestões de adubação para as diferentes culturas em Minas Gerais. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G. ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5**. Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.200.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: **Editora Universidade Federal de Viçosa,** 2003. 412p.

GERHARDT, K. E.; HUANG, X.; GLICK, B. R.; GREENBERG, B. M. Phytoremediation and trhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and Challenges. **Plant Science**. v.176, p.20-30, 2009.

LONDRES, FLAVIA. Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida. – Rio de Janeiro: AS-PTA – Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 2011.

MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CHAGAS, K.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PROCÓPIO, S. O. Uso de leguminosas na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 390-396, 2012.

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.

MADALÃO, J. C.; FREITAS, M. A. M.; FERNANDES, I. L.; JAKELAITIS, A. Sorção e dessorção do sulfentrazone em solos brasileiros. In: **Congresso Brasileiro de Química**, 55. 2015, Goiânia. Anais... Goiânia: Associação Brasileira de Química, 2015. ISBN 978-85-85905-15-6. Disponível em:< http://www.abq.org.br/cbq/2015/trabalhos/4/8274-21074.html> Acesso em 19 Jul. 2017.

MATEUS, G. P., WUTKE, E. B., Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. **Pesquisa & Tecnologia,** vol. 3, n.1 Jan-Jun 2006.

MAZZUCO, K. T. M. Uso da *Canavalia ensiformis* como fitorremediador de solos contaminados por chumbo. UFSC. Florianólpolis, p. 154. 2008.

MELO, C. A. D.; MEDEIROS, W. N.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, G. L.; PAES, F. A. S. V.; REIS, M. R. Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 835-842, 2010.

MELO, C. A. D. Biorremediação de solo contaminado com sulfentrazone associada a plantas e micro-organismos. 2015. 122 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

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.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI, O.; PAGLIARI, P. H.; CAVALIERI, S. D.; FRAMESQUI, V. P.; CARREIRA, S. A. M.; ROSO, A. C. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de uva itália e suscetibilidade da cultura em função de seu estádio de desenvolvimento. Engenharia Agrícola, Sorocaba, v. 27, n. esp., p. 35-40, 2007

OLIVEIRA, N. S. S. D. Características forrageiras de genótipos de sorgo submetidos a diferentes densidades de plantas e épocas de corte. Sete Lagoas-MG, 2015.

PASSOS, A. B. R. D. J. Atributos do solo e práticas culturais que influenciam no comportamento do picloram no ambiente: Comportamento do picloram no ambiente. - Viçosa, MG, 2015.

PINHO, A.P.; MATOS, A.T.; MORRIS, L.A. & COSTA, L.M. Atrazine and picloram adsorption in organic horizon forest samples under laboratory conditions. **Planta Daninha**, 25:125-131, 2007.

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.

PROCOPIO, SERGIO DE OLIVEIRA, et al. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (Eleusine Coracana). **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2517-2524, 2008.

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

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 5.ed. Londrina: Grafmarke, 2005. 591 p

ROSA W. J. Cultura do Sorgo. Departamento Técnico da Emater–MG, 2012

SALATA, A. D. C.. Produção e nutrição de pepino enxertado e não enxertado em ambiente com nematoides-das-galhas. Botucatu - SP Novembro – 2010.

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

SANTOS, J. B. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron–sodium por diferentes densidades populacionais de feijão–de–porco (*Canavalia ensiformis* (L). DC.). **Ciênc. Agrotec.** vol.30 no.3 Lavras May/June 2006.

SANTOS, J. B, SILVA AA, FERREIRA LR, PROCÓPIO SO & PIRES FR (2007) Fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas. In: Silva AA & Silva JF (Eds.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, Editora UFV. p. 210-329.

SANTOS, D. P. D.. Determinação de espécies bioindicadoras de resíduos de herbicidas auxínicos, 2013. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 60, n.3, p. 354-362, mai/jun, 2013

SILVA, J. F. D. Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados. Manaus-AM. 2012.

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

TEIXEIRA S. C. G. et al. Degradação do pesticida Padron® por processos fotoquímicos utilizando luz artificial e solar. **Quim. Nova**, Vol. 30, No. 8, 1830-1834, 2007

VALLE, Eliana M. A. et al . Thiram and picloram as entrapping agents for lead depicted by electrochemical methods. **J. Braz. Chem. Soc.**, São Paulo, v. 21, n. 6, p. 1052-1059, 2010.

VASCONCELOS, M. C., PAGLIUSO, D., SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**. v. 34, n. 83, p. 261-267, 2012.

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.