

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
CARLA CÍNTIA PARANHOS SILVA**

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM SULFENTRAZONE
UTILIZANDO EM COMUNIDADE *Canavalia ensiformis*, *Stylobium aterrimum* E
*Avena strigosa***

**SÃO JOÃO EVANGELISTA
2019**

CARLA CÍNTIA PARANHOS SILVA

**FITORREMEDIÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM SULFENTRAZONE
UTILIZANDO EM COMUNIDADE *Canavalia ensiformis*, *Stylobium aterrimum* E
*Avena strigosa***

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

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

S586f Silva, Carla Cíntia Paranhos.
2019

Fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone utilizando em comunidade *canavalia ensiformis*, *Stylobium aterrimum* e *Avena strigosa*. / Carla Cíntia Paranhos Silva. – 2019.
30f, il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2019.

Orientador: Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho.

1. Adubos verdes. 2. Sorghum bicolor. 3. Fitotoxicidade. I. Silva, Carla Cíntia Paranhos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 631.81

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

CARLA CÍNTIA PARANHOS SILVA

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM SULFENTRAZONE
UTILIZANDO EM COMUNIDADE *Canavalia ensiformis*, *Stylobium aterrimum* E
*Avena strigosa***

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

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Me Alisson José Eufrásio de Carvalho
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista



Me. Valdevino Pereira Silva
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista



Me. Ari Medeiros Braga Neto
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

Agradecimentos

Á Deus, pelo Dom da vida e por cuidar tão bem de mim e permitir que meus sonhos se tornem reais.

Ao meu pai José Paranhos da Silva (*in memoriam*), por ter me amado tanto e me apoiado enquanto estive aqui.

À minha mãe Odete Ferreira, pelo amor, carinho e admiração que tem por mim.

Ao meu namorado Glaysson, por estar sempre ao meu lado me apoiando e tornando essa minha caminhada menos árdua.

Aos meus irmãos e sobrinhos, por me fazer desejar um futuro melhor por eles e para eles;

Aos meus amigos novos e de longa data, que direta ou indiretamente me ajudaram até aqui.

Ao meu orientador, professor Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho. Obrigado pelos conhecimentos transmitidos e por toda a dedicação que tem no que lhe é atribuído.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais, Campus São João Evangelista, por ter me acolhido nos últimos 8 anos e por ter permitido mudar o rumo da minha história.

Á todos vocês, meu muito obrigado e minha eterna gratidão.

RESUMO

Dentre as novas tecnologias, a fitorremediação é opção para a descontaminação de áreas que receberam intensas aplicações de herbicidas. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a tolerância de uma comunidade de adubos verdes ao herbicida sulfentrazone e a capacidade dessa comunidade em diminuir o efeito fitotóxico do herbicida no bioindicador *Sorghum bicolor*. Foram avaliadas, em casa de vegetação, quatro doses do herbicida sulfentrazone (0; 1,0; 2,0 e 4,0 l.ha⁻¹) em pré-emergência dos adubos verdes *Canavalia ensiformis*, *Stylobium aterrimum* e *Avena strigosa*. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro doses de herbicidas e três comunidades de plantas, com cinco repetições. A fitotoxicidade do herbicida nas plantas fitorremediadoras foi avaliada aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura (DAS). Aos 60 DAS também foi avaliada a massa de matéria fresca e seca da parte aérea das espécies vegetais (MFPA e MSPA). Foi avaliado o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) das espécies sensíveis com os dados referentes ao número de plântulas germinadas até os 20 DAS. Os resultados demonstraram que a *Canavalia ensiformis* foi a espécie mais tolerante ao solo contaminado por sulfentrazone, com possível efeito fitorremediador. A comunidade de adubos verdes e a comunidade de plantas nativas proporcionaram melhores condições para o cultivo de sorgo cultivado em sucessão em solo contaminado por sulfentrazone.

Palavras-chave: Adubos verdes, *Sorghum bicolor*, Fitotoxicidade.

ABSTRACT

Among the new technologies, phytoremediation is an option for the decontamination of areas that received intense applications of herbicides. This work was developed with the objective of evaluating the tolerance of a community of green manures to the herbicide sulfentrazone and the ability of this community to reduce the phytotoxic effect of the herbicide in the bioindicator *Sorghum bicolor*. Four doses of the herbicide sulfentrazone (0, 1.0, 2.0 and 4.0 l.ha⁻¹) were evaluated in the greenhouse of the green manures *Canavalia ensiformis*, *Stylobium aterrimum* e *Avena strigosa*. The treatments were arranged in a 4 x 3 factorial scheme, four herbicide doses and three plant communities, with five replications. Herbicide phytotoxicity in phytoremediation plants was evaluated at 15, 30 and 45 days after sowing (DAS). At 60 DAS was also evaluated the mass of fresh and dry matter of the aerial part of the plant species (MFPA and MSPA). The Germination Speed Index (IVG) of the sensitive species was evaluated with the data referring to the number of seedlings germinated up to 20 DAS. The results showed that *Canavalia ensiformis* was the most soil tolerant species contaminated by sulfentrazone, with possible phytoremediation effect. The green manure community and the native plant community provided better conditions for the cultivation of sorghum grown in succession on soil contaminated with sulfentrazone.

Key words: Green fertilizers, *Sorghum bicolor*, Phytotoxicity.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Composição química da camada arável (0 - 20cm) do solo utilizado no experimento.....16
- Tabela 2** -Avaliação de fitotoxicidade de acordo com a escola de Alam (1974.....17
- Tabela 3**- Resumo da análise de variância do índice de toxicidade avaliado nas espécies fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.....18
- Tabela 4** - Toxidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.....19
- Tabela 5** - Resumo da análise de variância da altura avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone.....19
- Tabela 6** - Altura das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.....20
- Tabela 7** - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone.....20
- Tabela 8** - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone.....21
- Tabela 9** - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras sulfentrazone.....21
- Tabela 10** - Acúmulo de massa fresca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.....22
- Tabela 11**- Acúmulo de massa seca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.....22

Tabela 12 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do sorgo cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.....23

Tabela 13 - Índice de velocidade de germinação do sorgo cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas.....23

Tabela 14 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do sorgo cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.....24

Tabela 15 - Acúmulo de massa fresca da parte aérea do sorgo cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.....24

Tabela 16 - Acúmulo de massa seca da parte aérea do sorgo cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.....25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 SULFENTRAZONE	9
2.2 FITORREMEDIAÇÃO.....	10
2.3 FITORREMEIADORAS	12
2.3.1 <i>Avena strigosa</i> Schreb.....	12
2.3.2 <i>Canavalia ensiformis</i>	13
2.3.3 <i>Stylobium aterrimum</i> Piper & Tracy	14
2.4 <i>Sorghum bicolor</i> L.....	14
3.	
METODOLOGIA	15
4	
RESULTADOS	E
DISCUSSÃO	18
4.1 ÍNDICE DE FITOTOXICIDADE AVALIADO PARA AS FITORREMEIADORAS .	18
4.2 ALTURA DAS FITORREMEIADORAS.....	19
4.3 DIÂMETRO DE CAULE DAS PLANTAS DE FITORREMEIADORAS	20
4.4 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DAS LEGUMINOSAS	21
4.5 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO DO SORGO (IVG)	23
4.6 MATÉRIA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DO SORGO	23
5 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

O aumento na produção de alimentos é um dos principais pontos a ser discutido no século XXI, pois, segundo projeções da Organização das Nações Unidas (ONU), a estimativa da população global em 2050 é de aproximadamente 9,5 bilhões de pessoas (FREITAS & MENDONÇA, 2016). O Brasil é um dos países que possui maior produção no setor agropecuário e o segundo que mais exporta esses produtos, tendo assim uma grande importância para a economia global. Para conseguir altos níveis de produção e produtividade, o setor agropecuário faz uso intensivo de biotecnologia e insumos químicos, como fertilizantes e agroquímicos (PIGNATI et al. 2017). Em 2008, o país alcançou o primeiro lugar na lista de maior consumidor de agroquímicos do mundo e os herbicidas correspondem a 48% do total consumido (TAVELLA *et al.* 2011).

No entanto, o uso intensivo de moléculas xenobióticas na agricultura tem contribuído para a contaminação do solo e da água e, além disso, alguns herbicidas possuem longa persistência no ambiente (SANTOS 2017). Porém, herbicidas que possuem um efeito residual no solo são importantes para algumas culturas que necessitam de um longo período total de prevenção da interferência das plantas daninhas. Sendo assim, após uma aplicação do herbicida no solo, a cultura fica livre da presença das plantas daninhas até o fim deste período (MADALÃO *et al.* 2012).

O sulfentrazone está dentre os herbicidas que apresentam elevada persistência no solo, e, portanto, elevado potencial de contaminação ambiental (RODRIGUES E ALMEIDA, 2011). O herbicida sulfentrazone - N-[2,4-dicloro5[4-(difluorometil)-4,5-di-hidro-3 metil-5-oxo-1 H-1,2,4-triazol-1-il] metanosulfonamida - é registrado no Brasil para o controle de plantas daninhas em pré-emergência nas culturas de cana-de-açúcar, soja, citros, café, eucalipto e em áreas não agrícolas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

O efeito residual prolongado do sulfentrazone no solo pode causar danos às culturas sucedâneas suscetíveis, como milho, aveia-preta e sorgo (PEREIRA et al., 2000). Além do mais, pode também provocar intoxicação no milho em sucessão à soja (ARTUZI & CONTIERO, 2006) e em milho, aveia e trigo.

Para a minimização do impacto dos herbicidas nas culturas sucedâneas e no meio ambiente, uma técnica que pode vir a ser utilizada é a fitorremediação. A biorremediação é conceituada por BELO et al., (2011) como um processo de descontaminação do solo que emprega organismos vivos, podendo ser plantas ou microrganismos, capazes de se desenvolver em um meio contaminado, reduzindo ou até eliminando sua toxicidade ao meio.

Quando se faz uso de plantas isoladas ou o estímulo da microbiota associada às suas raízes, tem-se a fitorremediação. Essa técnica pode ser utilizada tanto para a descontaminação de herbicidas quanto de metais pesados.

Uma das primeiras etapas para se iniciar um programa de fitorremediação é a escolha da (s) espécie (s) fitorremediadora (s) (PROCÓPIO et al., 2009). Segundo Accioly et al. (2000), Uma solução eficaz é a seleção de espécies que resistam à presença do herbicida presente no solo através de testes e avaliações ou através da presença de uma planta se desenvolvendo de forma satisfatória em um local contaminado, tornando-se uma indicadora que a mesma poderá tornar-se uma planta fitorremediadora.

O objetivo deste trabalho foi avaliar uma comunidade de adubos verdes composta por três tipos de plantas: *Canavalia ensiformis*, *Stylobium aterrimum* e *Avena strigosa*, em fitorremediar o solo contaminado com o herbicida sulfentrazone, usando como bioindicadora a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SULFENTRAZONE

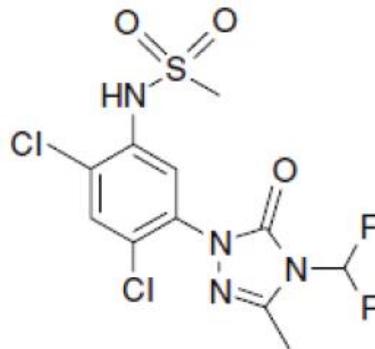
O sulfentrazone, (N-[2,4-dicloro-5-[4-(difluorometil)-4,5-di-hidro-3-metil-5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-il]fenil]metanosulfonamida) é um herbicida do grupo químico das triazolinonas e é registrado no Brasil para o uso em diversas culturas, tais como cana-de-açúcar, abacaxi, café, dentre outras culturas comuns em nosso país (AGROFIT, 2018). O sulfentrazone é um herbicida pré-emergente que faz o controle de diversas plantas daninhas, tanto dico como monocotiledôneas. Ele é aplicado ao solo, absorvido pelas raízes e translocado pelo xilema até seu ponto de ação (BACHEGA, 2008) O mecanismo de ação das moléculas do sulfentrazone se dá através da inibição da atuação da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). Na presença da luz e oxigênio, produz a forma reativa do oxigênio (oxigênio singlet) e como consequência, a peroxidação dos lipídios da membrana celular. A ação deste herbicida é manifestada através da necrose foliar da planta tratada em pós-emergência, após 4-6 horas de luz solar. Os primeiros sintomas são manchas verdes-escuras nas folhas, seguida de necrose (SIMPLÍCIO et al., 2018).

O sulfentrazone possui solubilidade de 780 mg L⁻¹ (pH 7), pressão de vapor 1.10⁻⁹ mmHg (25 °C), constante de dissociação (pK) 6,56 e coeficiente de partição (K_{ow}_{pH7}) 9,8 (BLANCO et al. 2010). O sulfentrazone, na formulação de suspensão concentrada contém

500 g i.a./L, apresenta uma solubilidade em água de 490 ppm e apresenta DL50 oral (ratos): 2685 mg/kg e DL50 dérmica (ratos): > 2000 mg/kg (RODRIGUES E ALMEIDA, 1998).

Segundo BLANCO e VELLINI (2005), o herbicida sulfentrazone pode persistir no solo por um período de tempo superior a 539 dias, porém sua bioatividade apresentou-se mais intensa em solos de textura argilosa ou contendo altos teores de matéria orgânica, onde ele é sorvido de forma eficiente e desorvido de forma lenta. Grande parte da degradação do sulfentrazone se dá através da ação da atividade microbiológica presente no solo (DAN, et al 2011).

Figura 1: Fórmula estrutural da molécula de sulfentrazone.



Fonte: CHEN (2003).

2.2 FITORREMEDIAÇÃO

Nos últimos anos, diante da crescente demanda por alimentos no mundo, o aumento da produção e conseqüentemente da produtividade, estão diretamente ligados ao uso de tecnologias e insumos agropecuários. Dentre esses insumos, podemos destacar os herbicidas, que hoje representa grande parte dos agrotóxicos utilizados no ciclo de produção da maioria das culturas. Grande parte dos herbicidas registrados possui uma atividade residual no solo, que é importante quando o Período Total de Prevenção da Interferência (PTPI) das plantas daninhas sobre as culturas é longo (PROCÓPIO et al., 2009). Porém após o fim do PTPI, os resíduos desses herbicidas no solo tornam-se um problema para as culturas sucessivas, como também para o meio ambiente (COUTINHO & BARBOSA, 2007). Em alguns casos, tem ocorrido a fitotoxicidade de culturas sensíveis (*carryover*), cultivadas após o uso de alguns herbicidas no solo (MADALÃO et al. 2012).

Governos de todo o mundo tem buscado abordagens econômicas e práticas que visam recuperar áreas poluídas e contaminadas, pois essa preocupação vai de encontro com a nova visão de produção, no qual o aumento de produtividade não é a única meta, mas também manter o nível produtivo ao longo dos anos com um enfoque conservacionista (PROCOPIO et al., 2009 e COUTINHO & BARBOSA, 2007). Em decorrência dessa preocupação com os fatores ambientais frente às cadeias produtivas, que surgiu o desenvolvimento de técnicas de remediação de áreas contaminadas com diversos tipos de poluentes, como metais pesados, moléculas de herbicidas, dentre outros.

A biorremediação é definida como uma técnica que busca descontaminar o solo e água por meio da utilização de organismos vivos, como microrganismos e plantas (PIRES *et al.*, 2003). Dentro da biorremediação, destacamos a fitorremediação, que é caracterizada por PROCÓPIO et al. (2009), como o uso de plantas juntamente com sua comunidade microbiana com a função de agentes despoluidores, que possuem a capacidade de degradar, imobilizar ou sequestrar os poluentes presentes no solo. A fitorremediação é utilizada em solos contaminados por diversas substâncias, tais como substâncias orgânicas ou inorgânicas, metais pesados, agrotóxicos, dentre outros (PIRES *et al.*, 2003).

No Brasil, a técnica de fitorremediação ainda é pouco difundida e pouco conhecida pela maioria da comunidade científica (PROCOPIO et al., 2009), porém já é amplamente utilizada nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, principalmente para remediação de metais pesados (SANTOS et al., 2004). O interesse pelo uso desta técnica para recuperação de áreas contaminadas se dá principalmente pelo baixo custo apresentado por ela, em contrapartida, o tempo para que os resultados sejam observados pode se destacar como um ponto negativo, a depender dos objetivos envolvidos na remediação (TAVARES, 2009).

A fitorremediação tem como base a seletividade natural ou desenvolvida que algumas espécies vegetais apresentam a determinados tipos de moléculas ou mecanismos de ação (PIRES et al 2003). A escolha da planta fitorremediadora ficará diretamente ligada ao tipo de solo da área em questão, do tipo de poluente e das características intrínsecas à cultura, como boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, fácil colheita e que apresentem uma grande resistência ao poluente. (COUTINHO & BARBOSA, 2007).

Segundo PROCOPIO et al. (2009), os mecanismos da fitorremediação podem ser divididos, didaticamente, da seguinte forma:

- Fitoextração: Ocorre a absorção do contaminante presente no ambiente pela espécie vegetal.

- Fitoacumulação: A molécula do xenobiótico é armazenada sem sofrer alterações no interior da planta, seja na raiz ou em outros órgãos. Esse mecanismo ocorre após a fitoextração.
- Fitodegradação: Ocorre a bioconversão do contaminante em formas menos tóxicas ou não tóxicas nas raízes ou em outros órgãos vegetais. Neste caso, pode ocorrer também a mineralização do xenobiótico, como consequência de uma intensa transformação da molécula em questão.
- Fitovolatilização; o contaminante é transformado em uma forma volátil, sendo liberado na atmosfera. Ocorre após a fitoextração, ou mesmo após a Fitoacumulação.
- Fitoestimulação: Ocorre um aumento concentração e ativação da comunidade microbiana da região da rizosfera, capaz de biodegradar o contaminante.

A utilização de plantas que possuem a capacidade de tolerarem e extraírem determinados compostos pode ser uma alternativa interessante para a agricultura, pois solos que antes eram considerados inaptos para o cultivo, podem vir a tornarem-se agricultáveis novamente, possibilitando assim a exploração dessas áreas, além de contribuírem positivamente para a recuperação de áreas contaminadas (ASSIS et al, 2010).

2.3 FITORREMEIADORAS

2.3.1 *Avena strigosa* Schreb.

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) é uma gramínea anual de inverno, pertencente à família das Poaceas. Seu centro de origem mais provável é na Ásia Menor e no Norte da África (HORN, 1985).

A aveia preta é uma espécie rústica, pouco exigente em fertilidade do solo e é a forrageira de inverno mais utilizada no Sul do Brasil para o pastejo animal (FONTANELI et al., 2009). É uma forrageira resistente a períodos de seca e com ótima capacidade de perfilhamento e produção de massa verde (CARVALHO et al., 2010). Comparando com a aveia branca e a aveia amarela, a aveia preta produz mais forragem. Ainda segundo CARVALHO et al. (2010), a aveia preta tornou-se fundamental nos sistemas de Plantio Direto (PD), pois é uma cultura que apresenta uma boa relação Carbono/ Nitrogênio (C/N) e para os sistemas de integração lavoura-pecuária, a aveia preta também possui fundamental importância, por possuir maior resistência a pragas e doenças, bem como ao pisoteio animal.

Quanto à sua morfologia, a cultura apresenta hábito de crescimento cespitoso, o colmo é cilíndrico, ereto e glabro, composto de nós e entrenós. O sistema radicular é do tipo fasciculado, com raízes fibrosas que facilitam a penetração no solo. A inflorescência é uma panícula com glumas aristadas ou não e o seu grão é uma cariopse (PRIMAVESI, 2000).

A aveia preta apresenta múltiplas funções, dentre elas estão a produção de grãos, forragem, cobertura do solo, adubação verde e para a inibição de plantas invasoras (HINDERSMANN et al., 2014). Segundo (FONTANELI et al., 2009) a aveia preta pode atingir produtividades de até 330 kg/há.

2.3.2 *Canavalia ensiformis*

O feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) é uma planta da família das Fabaceas, de origem americana. É uma planta tropical, amplamente cultivada como cobertura verde. A planta de feijão-de-porco é ereta, anual e desenvolve-se bem em solos ácidos. Suas folhas são grandes e apresentam boa cobertura. Possui forma de crescimento rasteiro/trepador, e suas sementes são brancas e graúdas, apresentando baixa palatabilidade (MAZZUCO, 2008). Seu tamanho pode chegar de 80 a 100 centímetros.

Uma das principais características dessa espécie consiste na sua rusticidade e adaptação aos solos de baixa fertilidade com a propriedade de enriquecê-los (RODRIGUES et al., 2004).

O feijão-de-porco é uma cultura que possui um crescimento inicial rápido, o que suprime o crescimento de plantas daninhas. Além disso, essa cultura possui propriedades alelopáticas sobre outras culturas e pode também ser utilizada em processos de fitorremediação de solos contaminados com metais pesados ou moléculas de herbicidas (CAVA et al., 2008).

MAZUCCO (2008), utilizando a espécie para a fitorremediação de solos contaminados com Chumbo, constatou que a cultura apresentou um bom potencial para a desintoxicação desses solos. Este experimento concluiu que nas concentrações de 100, 200, 350 e 1200 mg.kg⁻¹ a absorção de chumbo na planta aumentou e a partir de concentração de 2400 mg.kg⁻¹ a planta continuou a absorver, mas houve um declínio na absorção. PEREIRA (2005), também testando a cultura para a fitorremediação de solos contaminado com Chumbo, corroborou que a espécie em questão também possui a capacidade de extrair este metal pesado do solo. PIRES (2003), testando diversas espécies de plantas para a fitorremediação de

solos contaminados com tebuthiuron, concluiu que até na dosagem de 1,0 kg.ha⁻¹, o feijão-deporco pode ser indicado para a fitorremediação de solos contaminados por esse herbicida.

2.2.3 *Stylobium aterrimum* Piper & Tracy

A mucuna preta (*Stylobium aterrimum* Piper & Tracy) é uma planta da família das Fabaceas. É uma espécie anual, herbácea, vigorosa, de crescimento rasteiro com ramos extremamente trepadores. Floresce aproximadamente, 140 a 150 dias após o plantio. A vagem é alargada, deiscente após a maturação, com 3 a 6 sementes de coloração preta e hilo branco. Apresenta crescimento inicial rápido, controlando eficientemente as plantas daninhas presentes no local. Possui adaptação em diferentes solos, tanto argilosos quanto arenosos, sendo pouco exigente em fertilidade de solos (EMBRAPA, 2000). Possui ciclo anual ou bianual e de ampla adaptação e é recomendada para adubação verde. Possui atestada eficiência no controle da população de nematoides formadores de galhas, e sua produção de material seco pode alcançar 10 t.ha⁻¹. O ciclo, do plantio até a colheita das vagens, pode chegar a 240 dias, mas para fins de adubação verde, recomenda-se o corte na época de florescimento, por volta de 120 dias (AMBROSANO et al., 1997).

A mucuna preta é uma leguminosa muito utilizada para a prática de adubação verde, contribuindo para as características físicas e químicas do solo (DOS SANTOS et al., 2012). Além dessas características, a mucuna preta, juntamente com o feijão porco, segundo SANTOS et al. (2004), apresentou capacidade fitorremediadora para o herbicida Trifloxysulfuron sodium. O cultivo dessa espécie fitorremediadora permitiu o plantio posterior de cultivos sensíveis ao herbicida Trifloxysulfuron sodium, como o milho e o feijão.

2.4 *Sorghum bicolor* L.

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L.), pertencente à família *Poaceae*, apresenta metabolismo C4 e em consequência disso, é uma planta que tem como uma das principais características uma maior resistência ao déficit hídrico e altas temperaturas. É o quinto cereal mais plantado no mundo, vindo logo depois do trigo, do arroz, do milho e da cevada. É nativo da África e foi domesticado entre 3 mil e 5 mil anos atrás (FILHO & RODRIGUES, 2015).

Baseado em sua utilização, o sorgo é classificado em 5 grupos diferentes, sendo estes:

- O granífero, voltado para a produção de grãos;
- O forrageiro para a produção de feno, silo e pastejo;

- O vassoura utilizado em fabricação de utensílios domésticos e produtos artesanais;
- O sorgo sacarino como matéria prima para a produção de bioenergia
- Sudanense que é de ciclo menor e também utilizado na alimentação animal.

A planta de sorgo se adapta a diferentes ambientes, principalmente sob condições de deficiência hídrica, prejudiciais à maioria dos outros cereais. Esta característica permite que a cultura seja apta para desenvolvimento e expansão em regiões de cultivo com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão (DINIZ, 2010).

A escolha da cultura do sorgo como bioindicadora baseou-se no trabalho de Belo et al. (2011), que observou o alto grau de intoxicação da cultura do sorgo na presença do herbicida sulfentrazone. MADALÃO (2014), também utilizou o sorgo como bioindicador na fitorremediação de um Argissolo Vermelho-Amarelo fitorremediado com a *Canavalia ensiformis*.

3. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no campus do 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 avaliadas três espécies que são utilizadas como adubo verde. As espécies avaliadas foram *Avena strigosa* Schreb, *Canavalia ensiformis* e *Stylobium aterrimum* Piper & Tracy.

O delineamento adotado 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; 2,0 e 4,0 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 dm³ 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 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 sulfentrazone foi realizada do lado externo da casa de vegetação para redução dos riscos de deriva do herbicida e contaminação do ambiente. 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 *Avena strigosa* Schreb, *Canavalia ensiformis* e *Stylobium aterrimum* Piper & Tracy formando assim a comunidade de espécies fitorremediadoras. A segunda comunidade foi estabelecida com as espécies de plantas daninhas que germinaram. A terceira comunidade foi estabelecida com a capina semanal, mantendo a superfície do vaso livre de plantas. A escolha das espécies foi baseada em experimentos preliminares de tolerância aos herbicidas (PIRES 2003; SANTOS et al., 2004; 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 de matéria fresca e seca da parte aérea das espécies vegetais (MFPA e MSPA). Para determinar a massa de matéria seca da parte aérea das espécies vegetais, o material foi seco em estufa com circulação de ar forçada (65 ± 2 °C) por 72 horas.

Tabela 2 -Avaliação de fitotoxicidade de acordo com a escola 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 realizadas capinas manuais semanalmente, porém, as daninhas germinadas nas comunidades um e três, 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 realizada 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 à 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 para a cultura do sorgo, *Sorghum bicolor* (ALVES et al., 1999).

A adubação para a cultura do sorgo foi nas proporções de 0,56 g.vaso⁻¹ de (NH₂)₂CO, 5,55 g.vaso⁻¹ de P₂O₅ e 1,5 g.vaso⁻¹ de KCl. Logo após a adubação foram semeadas sementes de sorgo (dez sementes por vaso), espécie sensível ao sulfentrazone. Foi avaliado o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) do sorgo com os dados referentes ao número de plântulas germinadas até os 20 DAS.

Aos 15, 30 e 45 DAS, o sorgo foi avaliado 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) (Tabela 2). Aos 45 DAS foi avaliada a biomassa fresca e seca da parte aérea. 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.

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 ÍNDICE DE FITOTOXICIDADE AVALIADO PARA AS FITORREMEIADORAS

Foi observado efeito significativo de dose e fitorremediadoras das espécies cultivadas, como também da interação dose x fitorremediadora ($p < 0,05$) (Tabela 3). O tempo não foi significativo bem como as interações Dose x Tempo, Fitorremediadora x Tempo e Dose x Fitorremediadora x Tempo 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 sulfentrazone.

FV	GL	QM TOXICF (%)
Bloco	4	196,0718
Dose	3	15282,3942*
Fito	2	10162,5911*
Tempo	2	61,5393 ^{ns}
Dose x Fito	6	3607,5351*
Dose x Tempo	6	312,5170 ^{ns}
Fito x Tempo	4	492,2337 ^{ns}
Dose x Fito x Tempo	12	270,1486 ^{ns}
Erro	140	351,3129
Total	179	
CV (%)		108,82

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

Dentre as três espécies de adubos verdes, a *Canavalia ensiformis* apresentou menor índice de toxicidade, com médias estatisticamente iguais em todas as doses testadas (Tabela 4). Já a *Avena strigosa* e *Stylobium aterrimum* apresentaram médias maiores de fitotoxicidade, mas não diferenciaram entre si nas dose 0 e 1 L.ha⁻¹. (Tabela 4). Nas dosagens 2 e 4 L.ha⁻¹, a fitorremediadora *Stylobium aterrimum* apresentou maior percentual de fitotoxicidade, comparada com a *Canavalia ensiformis* e *Avena strigosa* (Tabela 4).

Tabela 4 – Médias desdobradas de dose x fitorremediadora de toxicidade das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS (L.ha ⁻¹)	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Stylobium aterrimum</i>	<i>Avena strigosa</i>
0	1,22 Aa	3,28 Aa	15,35 Aa
1	1,24 Aa	2,91 Aa	1,93 Aa
2	1,68 Aa	31,84 Bb	17,55 Aba
4	4,75 Aa	64,22 Cb	60,66 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.

Almeida et al. (2008), constatou em seu trabalho resultados similares para a *C. ensiformis*. Testando a espécie como fitorremediadora de solo contaminado com Chumbo (Pb), concluiu que esta planta possui potencial fitorremediadora desse metal pesado, pois o Pb não inibiu o crescimento da espécie e os sintomas de fitotoxicidade observados estavam dentro do limite tolerável.

Pires et al. (2003), testando diferentes espécies com potencial fitorremediador do herbicida tebuthiuron, observou que a mucuna-preta apresentou maior tolerância ao herbicida, com sintomas de toxicidade menos acentuados quando comparados com as demais espécies utilizadas.

4.2 ALTURA DAS FITORREMEIADORAS

Foi observado efeito significativo das doses e das fitorremediadoras, como também da interação dose x fitorremediadora na altura das plantas ($p < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância da altura avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone.

FV	GL	QM
		ALTF
Bloco	4	1443,5512
Dose	3	10147,9714*
Fito	2	62989,6290*
Dose x Fito	6	3804,1667*
Erro	44	1054,1863
Total	59	
CV (%)		38,66

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

Analisando a altura das espécies dentro das doses testadas, observa-se que a *Avena strigosa* não se diferenciou dentro das doses testadas. Na dosagem de 1 L.ha⁻¹, a altura da espécie *Canavalia ensiformis* foi quatro vezes maior do que a altura da *Avena strigosa* e na dosagem de 4 L.ha⁻¹, essa diferença foi ainda mais acentuada (Tabela 6). Comparando a *C. ensiformis* com a *Stylobium aterrimum*, observa-se que elas não se diferenciaram nas

dosagens de 1 e 2 L.ha⁻¹, porém, nas dosagens de 0 e 4 L.ha⁻¹, elas já se apresentam diferentes. Mesmo nas dosagem de 4 L.ha⁻¹, que é o dobro da dosagem recomendada para o herbicida testado, a espécie *S. aterrimum* apresentou um crescimento 14,4x maior que a espécie *A. strigosa* e 2,5x maior do que a *C. ensiformis*.

Tabela 6 - Altura das plantas fitorremediadoras cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS l.ha ⁻¹	ALTF, (cm)		ALTF, (cm)
	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Stylobium aterrimum</i>	<i>Avena strigosa</i>
0	38,48 Aa	97,78 Ab	17,75 Aa
1	138,06 Ab	137,46 ABb	28,65 Aa
2	135,00 Bb	147,96 Bb	37,10 Aa
4	63,12 Bb	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.

Lima et al. (2010), testando a *A. strigosa* como uma planta com potencial fitorremediador do metal pesado Cádmio (Cd), encontrou resultados semelhantes com a *A. strigosa*, observando queda considerável na altura das plantas para as doses maiores que 4 mg.kg⁻¹ e acentuados sintomas de toxidez do metal nas plantas.

Almeida et al. (2008), descreve em seu trabalho onde se avalia o potencial de fitorremediação do Chumbo (Pb) do solo utilizando *C. ensiformis* que a presença desse metal pesado até a dosagem máxima testada (1.000 µmol L⁻¹), não alterou a altura das plantas, como também não ocorreu sintomas de fitotoxicidade na parte aérea.

4.3 DIÂMETRO DE CAULE DAS PLANTAS DE FITORREMEIADORAS

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

Tabela 7 - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone.

FV	GL	QM
		DIÂMETRO (mm)
Bloco	4	0,18
Dose	3	8,02*
Fito	2	124,23*
Dose x Fito	6	0,97*
Erro	44	0,33
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.

Quando analisado o diâmetro das espécies fitorremediadoras, observa-se o mesmo comportamento apresentado na altura das mesmas. O maior diâmetro foi registrado na espécie *S. aterrimum*, na dosagem de 2 L.ha⁻¹. Nesta dosagem, o diâmetro foi três vezes maior do que da espécie *A. strigosa*, e 1,25x maior do que a *C. ensiformis*. Em todas as dosagens testadas do herbicida, a espécie *S. aterrimum*, apresentou um maior diâmetro comparado com as demais plantas. Isso demonstra que mesmo na presença do herbicida, esta espécie conseguiu se desenvolver, apresentando-se dessa forma como uma opção para ser utilizada como fitorremediadora.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância do diâmetro avaliada das fitorremediadoras cultivado em solos contaminados por sulfentrazone.

TRATAMENTOS (g)	DIÂM, (mm) <i>Canavalia ensiformis</i>	DIÂM, (mm) <i>Stylobium aterrimum</i>	DIÂM, (mm) <i>Avena strigosa</i>
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	2,5 Ba
4	4,20 ABb	7,3 BCc	1,5 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.

Não foram encontrados na literatura trabalhos avaliando o diâmetro de plantas com provável potencial de fitorremediação para o sulfentrazone.

4.4 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DAS LEGUMINOSAS

Foi observado efeito significativo de dose, fitorremediadora bem como interação entre dose e fitorremediadora sobre o acúmulo da MFPA e MSPA das plantas ($p < 0,05$) (Tabela 11).

Tabela 9 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados das espécies fitorremediadoras sulfentrazone.

FV	GL	QM	
		MFPAF	MSPAF
Bloco	4	26,7274	5,1523
Dose	3	716,4445*	85,4760*
Fito	2	25769,8719*	1208,7467*
Dose x Fito	6	1486,9554*	81,6430*
Erro	44	236,7384	9,9379
Total	59		
CV (%)		38,11	41,75

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.

A massa fresca da fitorremediadora *A. strigosa* não se diferenciou dentro das dosagens utilizadas no experimento (Tabela 10). Diferentemente do observado no diâmetro e altura das fitorremediadoras, a espécie *C. ensiformis* apresentou maior massa fresca do que a

S. aterrimum nas dosagens testadas (Tabela 6, 8 e 10). Somente na dosagem de 1 L.ha⁻¹ que estas espécies não se diferenciaram para a produção de massa fresca. Na dosagem de 4 L.ha⁻¹, a massa fresca da *C. ensiformis* foi 16,5 vezes maior do que da *S. aterrimum* e 4,45 vezes maior do que da *A. strigosa* (Tabela 10).

Tabela 10 - Acúmulo de massa fresca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS (L.ha ⁻¹)	MFPAF, (g)		MFPAF, (g)
	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Styrolobium aterrimum</i>	<i>Avena strigosa</i>
0	62,98 Ab	23,28 Aa	6,90 Aa
1	72,04 ABb	56,48 Bb	12,70 Aa
2	96,02 Bb	24,98 Aa	10,10 Aa
4	92,60 Bb	5,60 Aa	20,77 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.

Analisando os resultados para a produção de massa seca, observa-se o mesmo comportamento apresentado nos resultados obtidos de massa fresca. O teor de massa seca da espécie *A. strigosa* não diferenciou entre si nas diferentes dosagens do herbicida testado. Além disso, a aveia preta apresentou os menores teores de massa seca quando comparado com as demais espécies testadas (Tabela 10). Na dosagem de 2 L.ha⁻¹, a *C. ensiformis* apresentou um teor de massa seca 4,65 vezes maior que o *S. aterrimum*, e na dosagem de 4 L.ha⁻¹, essa diferença foi ainda mais acentuada, sendo 16,5x maior (Tabela 10).

Tabela 11- Acúmulo de massa seca da parte aérea de fitorremediadoras cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS (L.ha ⁻¹)	MSPAF, (g)		MSPAF, (g)
	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Styrolobium aterrimum</i>	<i>Avena strigosa</i>
0	9,77 Ab	4,45 Aa	0,69 Aa
1	15,72 Bb	12,97 Bb	1,54 Aa
2	21,56 BCb	4,64 Aa	0,78 Aa
4	17,16 Cb	1,04 Aa	0,22 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.

Lima et al. (2010), testando a *A. strigosa* como uma planta com potencial fitorremediador do metal pesado Cádmio (Cd), observou uma redução de até 80% na produção de matéria seca da parte aérea das plantas, comparada ao teor de MS obtido no tratamento testemunha. Esse trabalho corrobora com a pesquisa em questão, mostrando a limitação do uso dessa espécie como fitorremediadora para solos contaminados tanto com metais pesados quanto com moléculas de herbicidas.

4.5 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO DO SORGO (IVG)

Não foi observada efeito das doses do herbicida, comunidades (trat) e interação entre dose e fitorremediadora no índice de velocidade de germinação do sorgo ($p < 0,05$) (Tabela 12).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação avaliado na cultura do sorgo cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.

FV	GL	QM
		IVG
Bloco	4	383,2106
Dose	3	400,3190 ^{ns}
Trat	2	581,3919 ^{ns}
Dose x Trat	6	761,8095 ^{ns}
Erro	44	405,3803
Total	59	
CV (%)		24,11

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

Observou-se uma diminuição no IVG das plantas submetidas à aplicação de doses crescentes do sulfentrazone (Tabela 13). Os resíduos de sulfentrazone presentes no solo não alteraram a velocidade de germinação das sementes do sorgo, denotando um possível potencial das comunidades fitorremediadoras para extração do herbicida, observando que não ocorreram diferenças significativas entre as médias na comunidade de adubos verdes, comunidade nativa e comunidade capinada (Tabela 13).

Tabela 13 - Índice de velocidade de germinação do sorgo cultivado em sucessão a diferentes comunidades de plantas.

Comunidades	IVG
Comunidade adubo verde	89,45 A
Comunidade nativa	82,22 A
Comunidade capinada	78,91 A

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

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

4.6 MATÉRIA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA DO SORGO

Foi observado efeito significativo de dose sobre o acúmulo da MFPA e MSPA do sorgo ($p < 0,05$), não sendo significativo para comunidades (trat) e interação entre dose e comunidades (trat) (Tabela 14).

Tabela 14 - Resumo da análise de variância com os dados dos atributos avaliados na cultura do sorgo cultivado em sucessão a espécies fitorremediadoras.

FV	GL	QM	
		MFPAS	MSPAS
Bloco	4	125,1158	1,1818
Dose	3	3118,3535*	23,957*
Trat	2	154,8253 ^{ns}	1,138 ^{ns}
Dose x Trat	6	209,9967 ^{ns}	1,696 ^{ns}
Erro	44	125,3323	1,2690
Total	59		
CV (%)		46,91	45,86

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.

As plantas de sorgo cultivadas em sucessão a comunidade nativa apresentaram maior produção de massa fresca na dose de 1 l.ha⁻¹, com 38,26 g.planta⁻¹, 16,9% superior a testemunha (Tabela 15). Na dosagem de 2 l.ha⁻¹, as plantas de sorgo cultivadas em sucessão a comunidade capinada apresentou 30,08 g.planta⁻¹, 28,55% maior do que o apresentado pela comunidade de adubo verde e 83,64% maior do que o apresentado pela comunidade nativa. Analisando as diferenças entre as comunidades, na dose 4 l.ha⁻¹ em relação à testemunha, a comunidade de adubo verde acumulou 7,03x g.planta⁻¹ a menos, a comunidade nativa acumulou 6,6x a menos e a comunidade capinada acumulou 79,2x a menos (Tabela 15). Fazendo uma análise dentre as comunidades na dosagem de 4 l.ha⁻¹, observa-se que o maior acúmulo de massa fresca deu-se na comunidade de adubo verde, com 5,78 g.planta⁻¹, uma produção 13,76x maior do que o apresentado pela comunidade capinada.

Tabela 15 - Acúmulo de massa fresca da parte aérea do sorgo cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS (l.ha ⁻¹)	MFPAS, (g)	MFPAS, (g)	MFPAS, (g)
	Adubo Verde	Comunidade Nativa	Comunidade Capinada
0	40,68 Ba	32,76 BCa	33,26 Ba
1	37,94 Ba	38,26 Ca	22,42 Ba
2	23,40 Aa	16,38 ABa	30,08 Ba
4	5,78 Aa	5,00 Aa	0,42 Aa

MFPAS: Massa Fresca da parte aérea do sorgo. 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 maior acúmulo de massa seca foi observado na comunidade nativa, na dose de 1 l.ha⁻¹, com 4,05 g.planta⁻¹, 13% superior a testemunha (Tabela 16). Pode-se observar que na dose de 4 l.ha⁻¹, o acúmulo de massa seca foi menor para todas as três comunidades testadas, sendo que para o adubo verde e comunidade nativa foi de 0,63 g.planta⁻¹, e a comunidade capinada com 0,07 g.planta⁻¹ (Tabela 18). Analisando as diferenças entre as comunidades, na dose 4 l.ha⁻¹ em relação a testemunha, a comunidade de adubo verde acumulou 6,33x g.planta⁻¹ a menos, a comunidade nativa 5,54x a menos, e a comunidade capinada 46,43x a menos (Tabela 16).

Os resultados apresentados demonstram que a comunidade de adubo verde e comunidade nativa conseguiram proporcionar melhores condições para o desenvolvimento do sorgo, provavelmente por realizar uma maior remediação do herbicida sulfentrazone.

Tabela 16 - Acúmulo de massa seca da parte aérea do sorgo cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida sulfentrazone.

TRATAMENTOS (l.ha ⁻¹)	MSPAS, (g)		MSPAS, (g)
	Adubo Verde	Comunidade Nativa	Comunidade Capinada
0	3,99 Ba	3,49 BCa	3,25 Ba
1	3,93 Bab	4,05 Cb	2,30 Ba
2	2,41 ABa	1,91 ABa	3,19 Ba
4	0,63 Aa	0,63 Aa	0,07 Aa

MSPAS: 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.

Procópio et al. (2005), testando a espécie *Stizolobium aterrimum* (mucuna-preta) para a fitorremediação de solo contaminado com o herbicida trifloxysulfuron-sodium e utilizando o feijão (*Phaseolus vulgaris*) como bioindicador, concluiu que essa leguminosa é eficiente na remediação do herbicida trifloxysulfuron. O cultivo prévio de mucuna-preta nas densidades populacionais de 10 a 40 plantas.m⁻² evitou a perda de rendimento de grãos de feijão decorrente do residual do herbicida trifloxysulfuron-sodium no solo.

5 CONCLUSÃO

As espécies *Canavalia ensiformis* e *Stylobium aterrimum* foram selecionadas como espécies com potencial para fitorremediação de solos contaminados com sulfentrazone.

Não foram observadas diferenças significativas em relação a comunidades de adubos verde, comunidade nativa e comunidade capinada para o estabelecimento de plantas de sorgo após aplicação do sulfentrazone.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1. p. 299-352. 2000.

ALMEIDA, E. L., et al. Crescimento de feijão-de-porco na presença de chumbo. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.569-576, 2008.

ALVES, V. M. C., et al. 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, p.325-327. 1999.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; URAOKA, T. Técnica para marcação dos adubos verdes crotalária júncea e mucuna-preta com ¹⁵N para estudos de dinâmica do nitrogênio. **Bragantia**, v. 56, n. 1, p. 219-224, 1997.

ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1119-1123, 2006.

BACHEGA, T. F. **Lixiviação de sulfentrazone e amicarbazone com a adição de óleo mineral em resposta à precipitação e emergência de *Ipomoea* spp. em função da profundidade de semeadura e cobertura com palha**– Jaboticabal, 2008.

BELO, A. et al. Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Planta daninha**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 821-828, 2011.

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.

BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D.; FILHO, A. B. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 71-75, 2010.

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.

CAVA, M. G. B.; SANTOS, B.J. ; PEREIRA, V. A. ; TIMOSSI, P. C. . **Densidade de semeadura de feijão-de-porco - *Canavalia ensiformis***. In: VI Seminário de Iniciação Científica e III Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação da UEG, 2008, Anápolis. Anais.... Anápolis: Universidade Estadual de Goiás, 2008.

CARVALHO, P.C.F. et al. **Forrageiras de clima temperado. In: Plantas Forrageiras**, Fonseca, D.M.; Martuscello, J.A. Ed.: UFV.; p. 494-537. Viçosa, 2010

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

COUTINHO, H.D.; BARBOSA, A.R. **Fitorremediação: Considerações gerais e características de utilização**. Silva Lusitana. 15:103-117, 2007.

DAN, H.A. et al. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Planta daninha** [online]., vol.29, n.2, pp.437-445. 2011.

DINIZ, G.M.M.D. **Produção de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) Aspectos Gerais**. Recife- PE. p. 1-22. nov.2010.

DOS SANTOS, C. H., et al. **Utilização da mucuna preta (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy) para a fitorremediação de solo contaminado por chumbo**. *Revista Agro@mbiente On-line*, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Mucuna Preta (*Stylobium aterrimum* Piper & Tracy). Embrapa Amazonia Oriental. Recomendações Técnicas. Nº 15/2000.

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

FILHO, I. A. P.; RODRIGUES, J. A. S. Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: **Embrapa**, 2015.

FONTANELI, R. S.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.; VARGAS, L. Métodos de manejo de aveia preta para evitar sua ressurgência como planta daninha em trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, p.1983-1988, out, 2009.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. **RESR, Piracicaba-SP**, Vol. 54, Nº 03, p. 497-516, Jul/Set 2016.

HINDERSMANN, R. I., et al. Avaliação de genótipos de aveia preta na região da Campanha gaúcha no ano de 2013. In *Embrapa Pecuária Sul-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: **CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 23.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 16., 2014, Pelotas. Anais... Pelotas: UFPel, 2014.

HORN, F. P. Cereals and Brassicas for Forage. In: HEATH, M. E.; BARNES, R.F.; METCALFE, D. S. (Eds.). Forages: **The science of Grassland Agriculture**. 4º ed., p. 271-277, 1985.

LIMA, C. V. S., et al. Potencial de fitoextração do nabo forrageiro e da aveia preta em argissolo contaminado por cádmio. **Revista de estudos ambientais (Online)** v.12, n. 1, p. 39-49, jan./jun. 2010.

MADALÃO, J. C. et. al. Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 55, n. 4, p. 288-296, out./dez. 2012.

MADALÃO, J.C., et al. Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. **Revista Ciência Agrária**, v. 55, n. 4, p. 288-296, 2012.

Ministério da Agricultura. 2005. **AGROFIT**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 01 Nov. 2018.

MAZZUCO, K. T. M. Uso da *Canavalia ensiformis* como fitorremediador de solos contaminados por chumbo. **Universidade Federal de Santa Catarina**. Florianópolis. 2008.

MADALÃO, J. C. Fitorremediação do sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo e sua sorção e dessorção em diferentes tipos de solos. Viçosa, MG, 2014.

PEREIRA, B. F. F. Potencial fitorremediador das culturas de feijão-de-porco, girassol e milho cultivadas em LATOSSOLO VERMELHO contaminado com chumbo. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 2005. 68 fls. : il.

PEREIRA, F. A. R. et al. Seletividade de sulfentrazone em cultivares de soja e efeitos residuais sobre culturas sucessivas em solos de cerrado. **R. Bras. Herbicida**, v. 1, n. 3, p. 219-224, 2000.

PIGNATI, W. A. et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, 22(10):3281-3293, 2017.

PIRES, F. R. et al. Fitorremediação de solos contaminados por herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

PIRES, F. R. et al. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de tebuthiuron. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.21, n.3, p.451-458, 2003.

PRIMAVESI, A. C. Recomendações técnicas para o cultivo de aveias. São Carlos: **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2000.

PROCOPIO, S. O. et al. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2008, vol.32, n.6, pp.2517-2524. ISSN 1806-9657. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600028>> Acesso em: 13 de novembro. 2017.

RODRIGUES, N.B.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, 2005. 592 p.

RODRIGUES B.N.; ALMEIDA F.S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina: 2011. 697 p.

RODRIGUES, J. E. L. F., et al. A importância do feijão de porco (*Canavalia ensiformis* DC) como cultura intercalar em rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no

município de Ponta-de-Pedras/Marajó-PA. *Embrapa Amazônia Oriental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*, 2004.

SANTOS, E. Fitorremediação do herbicida sulfentrazone em função da mineralogia do solo e atividade microbiana associada à rizosfera de adubos verdes. Dissertação. **Universidade Federal do Espírito Santo**. 67 p. 2017.

SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; DOS SANTOS, J. B.; Fitorremediação de solos com resíduos de herbicidas. Aracaju. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2009. Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2009/doc_156.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

SANTOS, J. B. et al. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.223-330, 2004.

SIMPLÍCIO, F. J. T. Herbicida sulfentrazone no controle de plantas daninhas em pós-emergência inicial na cultura da cana-de-açúcar. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava-PR, v.11, n.1, p.99-103, jan-abr., 2018. DOI: 10.5935/PAeT.V11.N1.12.

TAVELLA, L. B., et al. O uso de agrotóxicos na agricultura e suas consequências toxicológicas e ambientais. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 7, n. 2, p. 6-12, 2011.

TAVARES, S. R. DE L. Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos. Rio de Janeiro: **UFRJ/COPPE**, 2009.