

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Bruna do Nascimento Amorim

**ATIVIDADE MICROBIANA DE SOLO CONTAMINADO COM RESÍDUOS
DE HERBICIDA SULFENTRAZONE SUBMETIDO À FITORREMEDIAÇÃO
COM ESPÉCIES LEGUMINOSAS**

São João Evangelista

2024

BRUNA DO NASCIMENTO AMORIM

**ATIVIDADE MICROBIANA DE SOLO CONTAMINADO COM RESÍDUOS
DE HERBICIDA SULFENTRAZONE SUBMETIDO À FITORREMEDIAÇÃO
COM ESPÉCIES LEGUMINOSAS**

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

2024

A524a Amorim, Bruna do Nascimento.

Atividade microbiana de solo contaminado com resíduos de herbicida sulfentrazone submetido à fitorremediação com espécies leguminosas / Bruna do Nascimento Amorim – 2024.
43f.: il.

Orientador: Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2024.

1. Microrganismos. 2. Efeito residual. 3. Bioatividade. I. Amorim, Bruna do Nascimento. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 631.8

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/MG-003372/P

Bruna do Nascimento Amorim

**ATIVIDADE MICROBIANA DE SOLO CONTAMINADO COM
RESÍDUOS DE HERBICIDA SULFENTRAZONE SUBMETIDO À
FITORREMEDIAÇÃO COM ESPÉCIES LEGUMINOSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso Bacharelado em Agronomia do
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista
para obtenção do grau de Bacharel em
Agronomia.

Aprovado em: 01/03/2024 pela banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

ALISSON JOSE EUFRASIO DE CARVALHO

Data: 04/03/2024 07:16:01-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho
Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG



Documento assinado digitalmente

VALERIA SANTOS CAVALCANTE

Data: 04/03/2024 07:25:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Valéria Santos Cavalcante
Instituto Federal de Minas Gerais –
IFMG



Documento assinado digitalmente

RICARDO GOMES DE OLIVEIRA

Data: 04/03/2024 13:58:43-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Ricardo Gomes de Oliveira
Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG

Aos meus pais, Edelsonita e Aurici.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, quem sempre me guiou e deu forças para chegar até aqui, me sustentando nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Edelsonita e Aurici, por acreditarem que eu conseguiria quando eu mesma desacreditei, e por todo apoio prestado para a realização deste sonho.

A minha prima Maria Luciene e meu querido Ícaro, por sempre acreditarem que eu conseguiria, por toda ajuda e companheirismo.

A minha avó Mercedes, por toda ajuda prestada durante todos esses anos.

A Carla, Isllene e Letícia, amigas de longa data, que mesmo com a distância, sempre se fizeram presentes.

Ao professor e orientador Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho, por toda paciência dedicada ao longo dos anos, afim de passar todo o conhecimento possível. Por sua amizade, e por toda ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao IFMG Campus São João Evangelista, pela oportunidade de formação em uma instituição de ensino tão renomada e por todas as experiências vividas.

A James Newton, Marcos Paulo, Ricardo e Lucas, por toda ajuda prestada na condução laboratorial do experimento.

Aos amigos que se tornaram família ao longo dos anos, com os quais compartilhei vários momentos, alegres e tristes. Sem vocês, tudo seria mais difícil, obrigada Josiane, Alice, Márcia, Rosana, Evandro, Layane, Maria Rita, Fábio e Adilson por todo o companheirismo.

Às demais pessoas que, de alguma forma, contribuíram para o êxito deste trabalho.

RESUMO

Os herbicidas pré-emergentes são capazes de permanecer no solo por mais tempo após a aplicação para controlar a emergência de plantas daninhas ao longo do ciclo da cultura, porém, em alguns casos, o resíduo remanescente no solo pode ter efeitos tóxicos as culturas sensíveis. Algumas espécies de plantas são tolerantes a certos herbicidas e são capazes de purificar o solo que contém seus resíduos. Essas são chamadas de fitorremediadores, principalmente leguminosas, e estão associadas as bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Bradyrhizobium*, geram diversos benefícios ao solo, além da fitorremediação do herbicida. No presente trabalho, diferentes combinações de *Mucuna pruriens*, *Canavalia ensiformes* e *Crotalária espectabilis*, foram utilizadas e inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* cepa BR 2003 para avaliar sua resposta ao sulfentrazone, um herbicida pré-emergente usado em grandes culturas e com capacidade de realizar fitorremediação e alta durabilidade no solo, na dose de 1,2 L ha⁻¹. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC) com esquema fatorial 4 x 8, onde o fator 1 refere-se ao nível do substrato com ou sem presença de sulfentrazone e inoculante, e o fator 2 refere-se às 8 combinações de leguminosas. Essas espécies foram avaliadas individualmente e em conjunto. A calda de herbicidas foi aplicada antes da semeadura e houve a avaliação da toxicidade do herbicida às espécies fitorremediadoras onde foram avaliadas aos 15, 30, 45 e 60 dias após a semeadura. A respiração basal e o carbono da biomassa microbiana foram medidos em solo coletado a 10 cm de profundidade nas subparcelas, 60 dias após a aplicação do herbicida. Análises foram realizadas para determinar a respiração basal, carbono da biomassa microbiana, nitrogênio e quociente metabólico. O maior valor de carbono foi observado na parcela com ausência de plantas, sendo 53% superior as parcelas com a combinação de feijão de porco + mucuna, e estatisticamente igual as demais parcelas. A respiração basal foi influenciada negativamente pela presença do sulfentrazone, com redução de 78% em relação aos tratamentos sem herbicida. A crotalária teve maior quociente metabólico quando comparada com a parcela com ausência de plantas. O nitrogênio foi influenciado positivamente pela parcela sem herbicida inoculado com aumento de 54% em relação as parcelas com sulfentrazone sem inoculação das sementes. Por fim, foi possível concluir que, a crotalária por ter uma alta capacidade de estimular os microrganismos no ambiente, obteve melhor resultados na fitorremediação.

Palavras-chave: Microrganismos. Efeito residual. Bioatividade.

ABSTRACT

Pre-emergent herbicides are able to remain in the soil for longer after application to control the emergence of weeds throughout the crop cycle, however, in some cases, the residue remaining in the soil can have toxic effects on sensitive crops. Some plant species are tolerant to certain herbicides and are able to purify the soil containing their residues. These are called phytoremediators, mainly legumes, and are associated with nitrogen-fixing bacteria of the genus *Bradyrhizobium*, generating several benefits to the soil, in addition to phytoremediation of the herbicide. In the present work, different combinations of *Mucuna pruriens*, *Canavalia ensiformis* and *Crotalaria spectabilis* were used and inoculated with *Bradyrhizobium elkanii* strain BR 2003 to evaluate their response to sulfentrazone, a pre-emergent herbicide used in large crops and with the capacity to perform phytoremediation and high durability in the soil, at a dose of 1.2 L ha⁻¹. The experiment was conducted in a randomized block design (DBC) with a 4 x 8 factorial scheme, where factor 1 refers to the substrate level with or without the presence of sulfentrazone and inoculant, and factor 2 refers to the 8 combinations of legumes. These species were evaluated individually and together. The herbicide mixture was applied before sowing and the toxicity of the herbicide to phytoremediation species was evaluated at 15, 30, 45 and 60 days after sowing. Basal respiration and microbial biomass carbon were measured in soil collected 10 cm deep in the subplots, 60 days after herbicide application. Analyzes were performed to determine basal respiration, microbial biomass carbon, nitrogen and metabolic quotient. The highest carbon value was observed in the plot with no plants, being 53% higher than the plots with the combination of jack beans + mucuna, and statistically equal to the other plots. Basal respiration was negatively influenced by the presence of sulfentrazone, with a 78% reduction in relation to treatments without herbicide. Sunn hemp had a higher metabolic quotient when compared to the plot with no plants. Nitrogen was positively influenced by the plot without inoculated herbicide with an increase of 54% in relation to the plots with sulfentrazone without seed inoculation. Finally, it was possible to conclude that, due to its high capacity to stimulate microorganisms in the environment, sunn hemp obtained better results in phytoremediation.

Key-words: Microorganisms. Residual effect. Bioactivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem de satélite vista da área (Google Earth, 2022)	21
Figura 2 - Croqui do experimento	21
Figura 3 - Armazenamento dos solos em geladeira	23
Figura 4 - Acondicionamento das amostras e frascos plásticos antes da adição do NaOH ...	24
Figura 5 - Solução rosa no início da titulação e solução incolor ao final da titulação	25
Figura 6 - Processo de irradiação das amostras fumigadas em forno de micro-ondas para determinação do carbono da biomassa microbiana	25
Figura 7 – Agitação dos frascos em agitador orbital (A) e processo espera para obtenção de sobrenadante com posterior filtragem (B)	26
Figura 8 – Final da titulação com solução de com verde	27
Figura 9 – Transferência do extrato e adição de reagentes (A) e processo de digestão em bloco digestor para obtenção do nitrogênio da biomassa microbiana	28
Figura 10 – Processo de destilação em destilador Kjeldahl	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância (ANOVA) com os dados dos atributos de solo contendo resíduos de sulfentrazone	29
Tabela 2 - Carbono da biomassa microbiana de solo contendo resíduos de sulfentrazone cultivado com diferentes combinações de plantas	30
Tabela 3 - Respiração basal de solos contendo resíduos de sulfentrazone e com o cultivo de fitorremediadoras	31
Tabela 4 - Respiração basal de solos coletados em área de cultivo de leguminosas com resíduos de sulfentrazone	31
Tabela 5 - Quociente metabólico de solos contendo resíduos de sulfentrazone	32
Tabela 6 - Quociente metabólico de solos coletado em área de cultivo de leguminosas com resíduos de sulfentrazone	32
Tabela 7 – Nitrogênio da biomassa microbiana de solos coletado em área de cultivo de leguminosas com resíduos de sulfentrazone	34

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Uso de herbicidas no Brasil	13
2.2 Efeitos residuais de herbicidas	14
2.3 Herbicidas pré-emergentes	14
2.4 Fitorremediação	16
2.5 Microrganismos e biomassa microbiana	18
2.6 Respiração basal	19
3 METODOLOGIA	20
3.1 Caracterização da área e do experimento	20
3.2 Preparo da área	22
3.3 Aplicação do herbicida	23
3.4 Avaliações dos experimentos	23
3.5 Análise de dados	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O uso de defensivos agrícolas é muito importante para a produção agrícola mundial e, como tal, é amplamente utilizado em diversas culturas para ajudar a aumentar a produtividade, controlando plantas daninhas, pragas e outros fatores que podem prejudicar a produção (SANTOS e SOUZA, 2009).

Os agroquímicos incluem os chamados herbicidas, que alteram o crescimento e o desenvolvimento das plantas daninhas quando elas são suscetíveis (EMBRAPA, 2006). Seu uso tem contribuído significativamente para o crescimento e desenvolvimento da agricultura brasileira (MANCUSO, 2011).

No Brasil, o uso de herbicidas em pré-emergência tem aumentado nos últimos anos (PACHECO, 2017). São aplicados no solo antes da emergência das plantas daninhas, atuando diretamente nos bancos de sementes existentes, reduzindo ou inibindo sua germinação, controlando assim a ocorrência de plantas daninhas nas áreas plantadas (SANTOS, 2022).

De acordo com Duque e seus colaboradores (2020), herbicidas pré-emergentes ou também conhecidos como herbicidas residuais são aplicados antes ou imediatamente após o plantio para controlar o banco de sementes de plantas daninhas presentes no solo. Ao utilizar herbicidas pré-emergentes, muitas vezes é desejável reter o resíduo para evitar o surgimento de plantas daninhas por um longo período de tempo, mantendo assim o controle durante o período em que sua perturbação é crítica para o crescimento da cultura (Patel, 2018), também ajuda a reduzir o número de aplicações necessárias (PIRES et al., 2003).

Os herbicidas com bioatividade de longo prazo podem causar danos às plantas em crescimento subsequente (DAM et al., 2012), com seu uso generalizado, algumas plantas têm apresentado problemas de intoxicação justamente pelos resíduos que permanecem no solo após algum tempo. A intoxicação ocorre quando lavouras sensíveis ao composto são implantadas após aplicação de herbicida com efeito residual, o que afeta negativamente a produtividade da lavoura (MANCUSO, 2011).

Para solucionar ou mesmo minimizar os problemas causados pela persistência desses compostos no solo, diversas técnicas precisam ser utilizadas, sendo a principal delas a fitorremediação (MADADÃO et al., 2012), nada mais do que usar plantas como agentes descontaminantes. Essa tecnologia é uma alternativa sustentável para eliminar a poluição do solo e da água (MADADÃO et al., 2012).

Para a seleção de plantas fitorremediadoras, além de sua capacidade de descontaminação, são considerados outros aspectos benéficos ao solo, entre os quais é muito comum o uso de plantas para cobertura do solo e adubação verde (PIRES et al., 2003). Nesse sentido, as leguminosas são grandes aliadas, pois além da limpeza, proporcionam outros benefícios ao solo, como aumentar o nitrogênio, acumular matéria orgânica no solo, favorecer a atividade de microrganismos, etc. (EMBRAPA, 2009).

A fitorremediação é uma técnica amplamente utilizada para extrair poluentes do solo com o objetivo de eliminar poluentes que possam ser tóxicos para determinadas culturas (SANTOS; NOVAK, 2013). A avaliação do impacto da atividade microbiana durante a fitorremediação pode ser medida indiretamente por meio de diferentes variáveis, como a respiração basal, que mede a atividade microbiana do solo, na qual os microrganismos degradam compostos orgânicos a dióxido de carbono (SILVA et al., 2013).

A respiração basal do solo (RBS) é definida como a soma de todas as funções metabólicas que produzem dióxido de carbono. Bactérias e fungos liberam mais CO₂ principalmente pela degradação da matéria orgânica (MO). A RBS está intimamente relacionada às condições abióticas do solo, incluindo umidade, temperatura e aeração (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI., 2007).

Segundo CATTELAN & VIDOR (1990) que investigaram os efeitos dessas propriedades e disponibilidade de substrato do solo em RBS e carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). A disponibilidade de carbono nos solos tem sido descrita como uma fonte que contribui para o aumento da RBS (FIGUEIREDO et al., 2007).

Os microrganismos do solo desempenham um papel na decomposição da matéria orgânica e participam diretamente do ciclo biogeoquímico dos nutrientes, regulando assim a disponibilidade de nutrientes no solo. Portanto, a biomassa microbiana total do solo é um importante reservatório de vários nutrientes para as plantas (GRISI & GRAY, 1986), pois pertence ao elemento instável da matéria orgânica do solo, e sua atividade é afetada por condições bióticas e abióticas, fazendo com que seu monitoramento reflita o solo, sendo considerados bons indicadores de mudanças causadas pelo manejo do solo. Inclusive, há relatos de que essas mudanças nas propriedades microbianas induzidas pela preparação do local e sucessão de culturas podem preceder mudanças no carbono e nitrogênio totais do solo (POWLSON & JENKINSON, 1981).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a atividade microbiana do solo contaminado com resíduo do herbicida sulfentrazone submetido à fitorremediação com espécies leguminosas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Uso de herbicidas no Brasil

Segundo Bull & Hathaway (1986), a popularidade dos pesticidas começou durante a Segunda Guerra Mundial, quando o mundo experimentou uma revolução no controle de pragas agrícolas, o DDT (diclorodifeniltricloroetano). Os autores observaram que, por ser considerado um produto de baixo custo e altamente eficaz, foi amplamente utilizado antes que seus efeitos nocivos fossem totalmente estudados.

Com o aumento da população mundial, novas formas de produção precisam ser desenvolvidas, dentre elas surgiram os herbicidas, cuja alta eficácia facilita muito o controle de plantas daninhas. Porém, não importa o desempenho desses produtos, as plantas daninhas não desapareceram. Algumas espécies diminuíram significativamente, enquanto outras aumentaram, ou seja, o uso de herbicidas levou ao desenvolvimento de uma flora altamente competitiva, de modo que agora começam a aparecer plantas daninhas resistentes a alguns desses produtos. Isso não significa que os herbicidas não sejam uma tecnologia viável, pelo contrário, constituem uma importante ferramenta no manejo das plantas (OLIVEIRA et al, 2011).

Os herbicidas representam cerca de 60% dos defensivos agrícolas utilizados no Brasil e são os defensivos mais comercializados no país (IBGE, 2021). Apesar das diversas mudanças no setor agrícola, os sistemas tradicionais de produção ainda são os mais utilizados e, por isso, o uso de defensivos químicos continua sendo o mais popular entre os produtores rurais (SALOMÃO et al., 2019).

A persistência de herbicidas no solo varia com a sorção, lixiviação e degradação e/ou biotransformação, pois esses fatores regulam a concentração, fluxo e tempo de residência dessas moléculas na solução do solo. Esses compostos têm efeito significativo no controle de plantas daninhas, além do potencial de danos contínuos às lavouras e risco de poluição ambiental (LOUX et al., 1989).

Por outro lado, como desvantagens, os herbicidas requerem o uso de equipamentos suficientes, alto investimento, exige mão de obra especializada, são tóxicos ao homem e ao meio ambiente, possuem longa persistência ambiental e podem causar danos às espécies de culturas rotativas. No entanto, o uso continuado pode estimular a resistência em outras plantas (COOPER & DOBSON, 2007). Segundo o AGROFIT, (2024), a quantidade de herbicidas registrados no Brasil soma 1094 formulas comercial.

2.2 Efeitos residuais de herbicidas

A durabilidade de um herbicida no solo após a aplicação pode determinar sua eficácia no controle de plantas daninhas, conhecido como período residual. Por outro lado, temos problemas como danos às culturas subsequentes e risco de contaminação ambiental, conhecido como persistência (ROSS e LEMBI, 1999). Os herbicidas mantêm suas moléculas intactas, mantendo suas propriedades biológicas, físicas e químicas, podendo variar de alguns dias a vários meses (OLIVIERA JR.; CONSTANTINE; INOUE, 2001).

O fenômeno residual pode ser definido como o ponto em que a atividade residual de um estabelecido agroquímico ultrapassa o ciclo da cultura na qual é aplicado e persiste com intensidade suficiente para causar danos a uma cultura em crescimento contínuo (OLIVEIRA, 2011). Vale ressaltar que a persistência dos herbicidas no solo varia e é sempre maior que a quantidade residual. Dessa forma, pode haver resíduos de herbicidas em uma área, mas estes não estão disponíveis e, portanto, não têm efeito tóxico nas plantas. Somente a partir do momento em que esse efeito é detectado, temos resíduos (MENDES; DIAS; REIS).

Com base na ideia de que os efeitos residuais dos herbicidas estão intimamente relacionados à sua dinâmica no solo, é necessário entender como eles se dissipam no ambiente e os processos envolvidos. O processo de dissipação de herbicidas no ambiente está relacionado às propriedades físico-químicas do herbicida e do solo, condições climáticas, manejo e sistema de cultivo utilizado (CLAY, 1993; NIEKAMP & JOHNSON, 2001). Portanto, um planejamento cuidadoso do cultivo da cultura e decisões quanto à adoção e seleção de herbicidas químicos são necessários para evitar problemas associados a resíduos nessa área (OLIVEIRA, 2011).

2.3 Herbicidas pré-emergentes

Os herbicidas de pré-emergência são herbicidas que são aplicados logo após o plantio da cultura relevante, antes da sua emergência e das plantas daninhas. A eficiência desses produtos nessas aplicações dependerá da disponibilidade de água no solo, pois depende de processos como o crescimento das raízes e a emergência das sementes para iniciar sua ação (OLIVEIRA JR.; CONSTANTIN; INOUE, 2011).

Herbicidas em pré-emergência têm efeito direto no banco de sementes do solo, prejudicando a emergência de plantas daninhas, e quando ainda ocorre germinação, ela é mais uniforme, o que facilita o controle em pós-emergência, tornando o controle mais seguro (SANTOS, 2022).

Portanto, os herbicidas de pré-emergência e a maioria dos métodos mecânicos de controle de plantas daninhas são usados para fornecer às culturas um período inicial de crescimento livre de plantas daninhas. Após a aplicação de herbicidas ou controle mecânico, as plantas daninhas podem voltar a crescer, mas têm impacto limitado nas culturas maduras, pois nas hortaliças as que amadurecem primeiro têm vantagem (SALOMÃO et al., 2019).

Os herbicidas pré-emergentes decorrem da umidade do solo para controle das plantas daninhas. A umidade no solo é indispensável porque os herbicidas precisam estar na solução do solo para serem eficazes. Uma vez em meio ao solo, o herbicida é absorvido pelas estruturas jovens da planta daninha, como raízes e caules, durante a germinação e emergência (MATIOLI, 2022). Usar um pré-emergente ajudará a manter a lavoura mais limpa por mais tempo, pois isso aumenta o período residual (EMBRAPA, 2019).

Com o objetivo de estabelecer o melhor estágio de interferência de plantas daninhas e melhorar a precisão da tomada de decisão, foram definidos três períodos: PAI (período pré-interferência), PTPI (período total para evitar interferência) e PCPI (período crítico para evitar interferência de plantas daninhas). (PITELI; DULLIGAN, 1984). Esses períodos geralmente são expressos em dias após a emergência, porém também podem ser apresentados como o estágio vegetativo da cultura em questão (AGROADVANCE, 2021).

A etapa em que as plantas daninhas coexistem nas fases iniciais do ciclo da cultura sem causar danos às espécies cultivadas é denominado período pré-interferência (PAI). Existe também um período denominado Período de Prevenção Total de Interferências (PTPI), que é o período após a emergência em que a cultura deve crescer sem a presença de ervas daninhas para que sua produtividade não seja significativamente alterada. Comunidades de espécies de plantas daninhas estabelecidas após esse período não poderão interferir significativamente na produtividade das plantas cultivadas. Após esse período, a cultura será capaz de controlar

sozinha as ervas daninhas que surgem. Entre o PTPI e o PAI ocorre um terceiro ciclo denominado Ciclo de Prevenção de Interferências Críticas (PCPI). Esta etapa corresponde ao momento em que as medidas de controle devem ser efetivamente tomadas (EMBRAPA, 2021).

2.4 Fitorremediação

Conhecida desde o início da década de 90, a fitorremediação (fito = planta, remediação = correta) é uma técnica que utiliza plantas para degradar, extrair, conter ou imobilizar poluentes do solo e da água. As pesquisas nessa área buscam entender as interações entre plantas e poluentes (EPA, 2000). Algumas das vantagens da fitorremediação incluem baixo custo de investimento e operação, adequação *in-situ*, instabilidade na área a ser purificada e mínima degradação (CHAVES, MESQUITA, ARAUJO E FRANÇA, 2010).

A eficácia da fitorremediação é limitada pela capacidade das plantas de absorver metais da superfície das partículas do solo, bem como pela solubilidade desses metais. No entanto, os metais podem ser dissolvidos pela adição de agentes inibidores, levando a uma maior absorção pelas plantas (DOUMETT, LAMPERI, CHECCHINI, AZZARELLO, MUGNAI, MANCUSO, et al. 2008).

Os resultados da fitorremediação não são imediatos e podem levar semanas, meses ou até anos para atingir o objetivo. Portanto, pode não ser recomendado em áreas onde uma resposta rápida é necessária e representa um risco para os organismos (EPA, 2000). Uma estratégia para aumentar a captura de poluentes é o melhoramento genético de plantas com potencial fitorremediador (GARDEA-TORRESDEY, PERALTA-VIDEA, DE LA ROSA, & PARSONS, 2005).

A tecnologia de fitorremediação tem apresentado avanços significativos na compreensão da natureza dos contaminantes e na elucidação dos processos envolvidos, entre os quais temos: A Fitoextração, Fitoestimulação, Fitotransformação (fitovolatilização e fitodegradação), Fitoestabilização, Rizofiltração (OLIVEIRA et al, 2006).

A fitoextração acontece a partir da absorção de contaminantes pelas raízes, onde são transportados ou armazenados e acumulados nas partes aéreas. É adequado principalmente para metais como cobre, chumbo, zinco, cádmio e níquel, podendo também ser utilizado para compostos inorgânicos e orgânicos (NEWMAN, 2004).

A fitotransformação ocorre através da absorção seguida de volatilização ou degradação parcial ou completa em compostos menos tóxicos que são incorporados e/ou ligados aos tecidos

vegetais (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000). Em geral, a maioria dos compostos orgânicos sofre alguma transformação nas células vegetais antes de serem segregados em vacúolos ou combinados com estruturas celulares não solúveis, como a lignina (SALT et al., 1998).

A fitoestimulação estimula a biodegradação microbiana de poluentes pelas plantas através do fornecimento de exsudatos radiculares e/ou tecidos vegetais (ROCHA, D. L.; MOURA, E. G., 2015).

A fitovolatilização é utilizada para a potencial remediação de produtos químicos orgânicos voláteis, para compostos orgânicos, principalmente mercúrio, selênio e arsênio, que são absorvidos pelas raízes, modificados para formas menos tóxicas ou atóxicas e depois liberados na atmosfera (GRATÃO, 2005).

Segundo Cunningham (1996), a degradação das plantas depende da captura direta de contaminantes do solo ou das águas subterrâneas e sua posterior degradação no interior das células vegetais pela ação de enzimas específicas, como nitroredutase (degradação de compostos nitroaromáticos), desalogenases (degradação de cloretos, solventes e pesticidas) e lacases (degradação da anilina).

Segundo Schoor (1997), a fitoestabilização refere-se ao uso de sistemas vegetais para manter solos e sedimentos contaminados, imobilizando contaminantes no solo. O estabelecimento de raízes evita que a ação dos ventos fortes espalhe materiais dentro da área contaminada, evitando assim maiores contaminações. Em alguns casos, o controle hidráulico é possível porque as plantas evaporam grandes quantidades de água, impedindo que o chorume migre para os lençóis freáticos ou para corpos receptores.

A rizofiltração é um método que usa sistemas vegetais para facilitar a remoção de contaminantes do meio aquoso. Nesta metodologia, é realizado um sistema hidropônico no qual as raízes dos vegetais são mantidas em contato com as águas residuais e os poluentes são absorvidos e concentrados através do sistema hidropônico. Plantas com grande biomassa radicular (hiperacumuladores aquáticos), como girassol e mostarda, têm potencial adequação para esta tecnologia (DINARD et al., 2003).

Os contaminantes que podem ser alvos da fitorremediação incluem compostos orgânicos (pesticidas, solventes clorados, hidrocarbonetos de petróleo), compostos inorgânicos (sulfatos, cianetos, nitratos), metais pesados, radionuclídeos, explosivos e lixiviados de aterros. Esses poluentes foram encontrados em profundidades de até 20 m (SUSARLA, MEDINA E MCCUTCHEN, 2002).

Chang e Corapcioglu (1998) descrevem como as plantas conseguem remediar locais contaminados com resíduos tóxicos, alterando as propriedades físicas e químicas dos poluentes no solo e liberando exsudatos de suas raízes. O segundo mecanismo pode levar a uma série de mudanças no solo próximo às raízes, como aumento de matéria orgânica, aeração e porosidade. Outro fator que favorece a fitorremediação é a atividade microbiana, que pode transformar substâncias químicas persistentes no solo, sejam elas próprias poluentes, favorecendo a captura vegetal, ou atuando em produtos que foram metabolizados pelas plantas após a remediação.

As leguminosas também atuam como fitorremediadores, absorvendo, fixando ou removendo metais pesados, tornando-as menos agressivas ao meio ambiente. Para reduzir a degradação da terra e dos recursos naturais nas atividades agrícolas, têm sido utilizadas técnicas para restaurar áreas degradadas, incluindo o uso de bactérias fixadoras de nitrogênio. Estas bactérias promovem o crescimento vegetal, pois estimulando o crescimento das plantas através de fertilizantes e efeitos bioestimuladores que aumentam a resistência a doenças e estresses, uma alternativa ao manejo sustentável da terra (OLIVEIRA et al, 2021).

2.5 Microrganismos e biomassa microbiana

Os microrganismos são pequenos animais que só podem ser vistos com um microscópio. No solo, esses organismos compõem uma vasta população de seres e, muitas vezes, é possível observar colônias a olho nu. Os microrganismos estão envolvidos na modificação e deterioração da matéria orgânica do solo, no deslocamento de energia e na ciclagem de nutrientes (HERNNI, 2021). Os microrganismos constituem a maior parte da biodiversidade terrestre (Torsvik et al., 2002) e desempenham papéis importantes nos ciclos biogeoquímicos e na função do ecossistema (Bell et al., 2005).

Os microrganismos continuam sendo uma fonte dinâmica substancial e armazenam nutrientes em todos os ecossistemas e participam ativamente de processos benéficos, como estrutura do solo, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes vegetais, redução de patógenos e pragas de plantas, degradação de compostos persistentes, associações de micorrizas e outras propriedades do solo que afetam o crescimento das plantas (KENNEDY & SMITH, 1995).

Existem várias razões para usar microrganismos e processos microbianos como indicadores da qualidade do solo estão à capacidade dos microrganismos e processos microbianos de responder rapidamente às mudanças no ambiente do solo devido a mudanças

de manejo e o fato de que a atividade microbiana do solo reflete todos os fatores da microbiota, regulando a degradação da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes (KENNEDY & PAPENDICK, 1995; STENBERG, 1999).

A matéria orgânica do solo é criada principalmente pela sedimentação de restos de origem animal e vegetal, os quais estão sujeitos à atividade decompositora de microrganismos, auxiliados pela ação da macro e mesofauna. Parte do carbono presente nos resíduos é lançado na atmosfera como CO₂ e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica como componente do solo. A influência da matéria orgânica sobre os microrganismos pode ser avaliada a partir da biomassa e da atividade microbiana, que são parâmetros que representam a integração dos efeitos nas condições biológicas do solo (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

A fração viva da matéria orgânica do solo é a biomassa microbiana e consistem em bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. É um importante componente da avaliação da qualidade do solo, pois atua nos processos naturais de decomposição, interage com a regeneração da estabilidade dos agregados e a dinâmica dos nutrientes (FRANZLUEBBERS et al., 1999). A biomassa microbiana é afetada por variações sazonais de temperatura e umidade, manejo do solo, preparo do solo e resíduos vegetais. Representa apenas uma pequena fração da fração ativa da matéria orgânica (DE LUCA, 1998), representando apenas 2% a 5% da matéria orgânica do solo. No entanto, é uma medida mais sensível das mudanças na matéria orgânica causadas pelas práticas de cultivo do que o carbono orgânico e o nitrogênio total (GAMA-RODRIGUES, 1999).

A biomassa microbiana pode ser utilizada como um indicador biológico ou indicador da adequação sustentável de um sistema de produção (ANDERSON & DOMSCH, 1993), e geralmente apresenta forte correlação com a matéria orgânica (MOS), ou seja, reflete mudanças na concentração de MOS. A proporção de carbono microbiano para carbono orgânico indica a qualidade da matéria orgânica (WARDLE, 1994).

2.6 Respiração basal

A respiração basal do solo mede a atividade microbiana dos solos, onde os microrganismos degradam compostos orgânicos em dióxido de carbono (SILVA et al., 2013). Tal como acontece com a matéria orgânica, a umidade diminui com a profundidade. Comparado com o solo sem cobertura vegetal, o solo com palha apresenta menor perda por evapotranspiração, criando um ambiente mais adequado para o cultivo (PERES et al., 2010).

Um dos parâmetros para avaliar a qualidade do solo nesses sistemas é a quantificação da atividade microbiana por meio da respiração basal do solo (RBS), processo que permite quantificar o CO₂ liberado em função da atividade metabólica oxidativa da matéria orgânica por meio do uso do oxigênio (O₂) por microrganismos (KONRAD, CASTILHOS, 2002; DIONÍSIO et al., 2016; MEDEIROS et al., 2019).

O estado fisiológico das células microbianas afeta a respiração basal do solo, bem como a umidade, temperatura, estrutura do solo, textura, teor de matéria orgânica, etc. (SILVA et al., 2010). A análise separada do carbono da biomassa microbiana (CBM) e da respiração basal do solo (BRS) pode limitar a análise da atividade microbiana do solo; assim, o quociente metabólico junto com essas variáveis fornece uma compreensão mais informativa da atividade microbiana do solo (ALVES et al., 2011).

Para que um atributo ou processo seja considerado um indicador de qualidade, ele deve ter uma correlação intrínseca com as principais funções do solo, como fornecimento e renovação de nutrientes, retenção do solo e condutividade da água, fornecer suporte físico às raízes das plantas e filtrar substâncias tóxicas (PAZ- FERREIRO et al., 2016). Além disso, para que um índice seja considerado bom, ele deve refletir diferentes níveis de degradação da terra, ser sensível ao maior número possível de fatores e ser fácil de avaliar (GIL-SOTRES et al., 2005).

Para compreender a qualidade e a capacidade do solo de desempenhar funções essenciais, é utilizada a análise microbiológica do solo. Esse processo nada mais é do que o estudo dos micróbios que vivem na terra, para determinar quais tipos de microrganismos estão presentes, quantos tipos existem e como eles interagem entre si (JACTO, 2022).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área e do experimento

O trabalho de campo foi conduzido no Setor de Olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, no Campus São João Evangelista (IFMG-SJE), no primeiro semestre de 2023, no período de abril a junho (Figura 1). O município de São João Evangelista está localizado nas coordenadas UTM 23K 736207.29 m E e 7947253.00 m S e altitude média de 728 metros (SCOLFORO; MELLO; SILVA, 2008).

Figura 1 - Imagem de satélite vista da área (Google Earth, 2022).



Fonte: A autora.

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 4 x 8, sendo o fator 1, os níveis de substrato e o fator 2, as combinações de plantas. Para a alocação das parcelas no campo foi utilizado o arranjo com parcelas subdivididas, sendo as parcelas os herbicidas e as subparcelas as combinações das espécies leguminosas. Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 128 unidades experimentais (Figura 2).

Figura 2 - Croqui do experimento.

		Sulfentrazone									Sem herbicida							
BLOCO 1	Inoculadas	2	1	3	4	5	6	8	7	/	2	4	1	3	5	7	6	8
	Não inoculadas	2	1	3	4	5	6	8	7		2	4	1	3	5	7	6	8
		Sem herbicida									Sulfentrazone							
BLOCO 2	Inoculadas	1	3	2	4	5	6	8	7	/	3	2	4	1	5	6	7	8
	Não inoculadas	1	3	2	4	5	6	8	7		3	2	4	1	5	6	7	8
		Sulfentrazone									Sem herbicida							
BLOCO 3	Inoculadas	5	1	4	2	3	8	7	6	/	1	4	2	3	5	6	8	7
	Não inoculadas	5	1	4	2	3	8	7	6		1	4	2	3	5	6	8	7
		Sem herbicida									Sulfentrazone							
BLOCO 4	Inoculadas	3	5	2	1	4	7	8	6	/	4	1	2	3	5	8	6	7
	Não inoculadas	3	5	2	1	4	7	8	6		4	1	2	3	5	8	6	7

Dimensão de cada parcela: 1,70 x 13,2 m (22,44m²)
 Dimensão das subparcelas: 1,70 x 1,65 m (2,8m²)
 Espaçamento entre parcelas: 0,4 m

Fonte: A autora.

Os níveis de substratos do fator 1 foram: nível 1 - sulfentrazone com inoculação das sementes; nível 2 - sulfentrazone sem inoculação das sementes; nível 3 - ausência de herbicida

com inoculação das sementes; nível 4 - ausência de herbicida e de inoculação das sementes. Para o fator 2, as combinações serão: combinação 1 - feijão de porco + crotalária + mucuna (FP+CR+MU); combinação 2 - feijão de porco + crotalária (FP+CR); combinação 3 - feijão de porco + mucuna (FP+MU); combinação 4 - crotalária + mucuna (CR+MU); combinação 5 - ausência de plantas (AP); combinação 6 - feijão de porco (FP); combinação 7 - mucuna (MU); combinação 8 - crotalária (CR).

3.2 Preparo da área

Para o preparo da área foram realizadas as operações de roçada, seguida de aração e gradagem. Em seguida, com o auxílio do encanteirador, a construção de 8 canteiros com 1,70 m de largura x 39,6 m de espessura, e espaçamento entre eles de 0,4 m. As parcelas experimentais foram demarcadas com uma área de 1,70 x 13,2 m (22,44 m²). No total, foram demarcadas 3 parcelas em cada canteiro, deixando um espaçamento de 0,4 m, para fazer a separação entre elas. A cada dois canteiros foi representado um bloco, sendo que, em um deles as sementes foram inoculadas com a estirpe de *Bradyrhizobium* BR 2003, e o outro sem inoculação. Em cada parcela foram demarcadas 8 subparcelas (referentes às 8 combinações de planta), e para cada uma, será demarcada uma área de 1,70 x 1,65 m (2,8 m²).

O inoculante para a fixação biológica de nitrogênio foi o *Bradyrhizobium elkanii*, da cepa BR 2003 (SEMIA 6156) – adquirido da coleção de culturas da Embrapa Agrobiologia. A inoculação ocorreu no mesmo dia da semeadura, seguindo metodologia da EMPRAPA, que recomenda 50 g do inoculante para 10 kg sementes de mucuna, 50 g para 2 kg sementes de crotalária, e 50 g para 10 kg sementes de feijão de porco. Cada espécie foi inoculada separadamente e para isso uma solução açucarada a 10% foi utilizada para umedecer as sementes, de forma homogênea, para em seguida, aplicar a dose indicada do inoculante, misturando bem, de forma que todas as sementes sejam envoltas pelo produto. Depois da homogeneização, as sementes foram espalhadas sobre folhas de papel limpas para secagem. A semeadura ocorreu em 5 horas depois da inoculação.

As sementes das espécies leguminosas: crotalária (*Crotalaria spectabilis*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) e mucuna-preta (*Mucuna pruriens*) foram adquiridas em casas especializadas. A semeadura foi realizada a lanço, seguindo a densidade recomendada pela EMBRAPA, de 100 kg.ha⁻¹ de sementes de mucuna, 12 kg.ha⁻¹ de sementes de crotalária, e 100 kg.ha⁻¹ sementes de feijão de porco.

3.3 Aplicação do herbicida

A calda do herbicida foi aplicada antes da semeadura das sementes com auxílio de um pulverizador costal elétrico provido de barra de pulverização contendo um bico tipo leque Teejet 110.02 e com volume de aplicação de 250 L ha⁻¹. Utilizou-se o herbicida comercial Boral® 500 SC (sulfentrazone), com dose comercial de 1,2 L ha⁻¹.

3.4 Avaliações dos experimentos

As plantas fitorremediadoras foram coletadas aos 60 DAS. Amostras de solo foram coletadas nas subparcelas em 10 cm de profundidade para a determinação da respiração basal e carbono da biomassa microbiana (CMIC) foram realizadas aos 60 dias após a aplicação do herbicida. As amostras coletadas foram acondicionadas em caixa térmica e encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia dos Solos do IFMG-SJE. Para preservar as características do material coletado, as amostras foram acondicionadas em geladeira até o processamento (Figura 3) (FILIZOLA et al., 2006).

Figura 3 - Armazenamento dos solos em geladeira.



Fonte: Acervo dos autores

Para a determinação da respiração basal do solo (RBS) utilizou-se a metodologia de Silva et al. (2007). Foram aferidos 20 gramas de solo em sua condição de saturação hídrica, meticulosamente distribuídos em frascos de plástico, em procedimento duplamente replicado. Para a subsequente incubação, foram empregados 10 mililitros de solução aquosa de hidróxido

de sódio (NaOH) a uma molaridade de 0,3 mol L⁻¹, contidos em frascos menores de plástico, os quais foram imersos nos frascos contendo o solo, vedando-os hermeticamente para o período de incubação de sete dias (Figura 4). Ao término deste intervalo temporal, foram adicionados 5 mililitros de solução de cloreto de bário a 20% (m/v) para a completa precipitação do dióxido de carbono. Posteriormente, procedeu-se à titulação utilizando ácido clorídrico a uma concentração de 0,1 molaridade, empregando fenolftaleína como indicador nesta reação analítica.

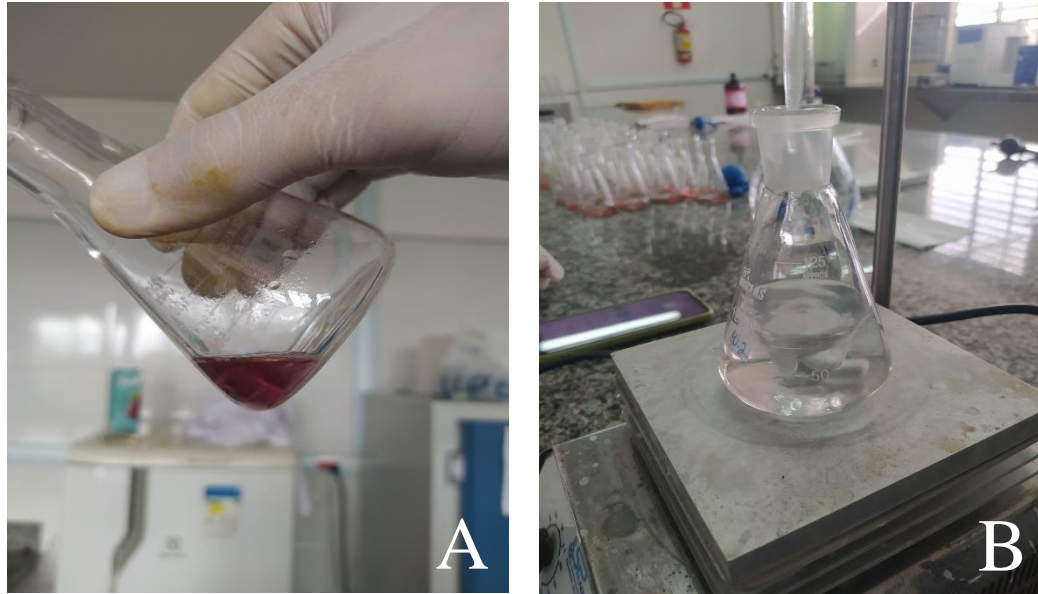
Figura 4 - Acondicionamento das amostras e frascos plásticos antes da adição do NaOH.



Fonte: Acervo dos autores

Após o processo de incubação, por 72 horas, foram retirados os potes do frasco de plástico contendo o NaOH e foram adicionados 2 mL de BaCl₂ 20% (m/v) para a completa precipitação do CO₂. Na sequência, a sub-amostra precipitada foi encaminhada para titulação, adicionando 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v) e titulando sob agitação magnética com solução 0,5 M de ácido clorídrico, posteriormente padronizada. Ao final da titulação a coloração da solução alterou de rosa (A) à incolor (B) (Figura 5).

Figura 5 - Solução rosa no início da titulação e solução incolor ao final da titulação.



Fonte: Acervo dos autores.

Para o carbono da biomassa microbiana foi utilizado o método descrito por Vance et al. (1987). As amostras de solo foram analisadas em triplicata sendo, três fumigadas e três não-fumigadas, acondicionadas em placas de petri. A fumigação das amostras com clorofórmio proposta pelo autor foi substituída pelo forno de micro-ondas (irradiação) (Figura 6). (ISLAM & WEIL, 1998). As amostras foram expostas ao calor gerado pelo micro-ondas pelo tempo de um minuto e quinze segundos, conforme ajuste da potência do equipamento.

Figura 6 - Processo de irradiação das amostras em forno de micro-ondas para determinação do carbono da biomassa microbiana.



Fonte: Acervo dos autores.

Ponderar 20 gramas de cada amostra de solo em placa de Petri destinada à irradiação, enquanto outras 20 gramas serão dispostas em erlenmeyer, não sujeitas à mesma exposição. As amostras serão então submetidas à irradiação por micro-ondas, seguindo rigorosamente os tempos previamente calculados. Após o procedimento irradiante, as amostras serão transferidas, utilizando um funil para a operação, para outro erlenmeyer, devidamente identificando as amostras irradiadas das não irradiadas. Posteriormente, será utilizada a mesma placa de cada amostra para pesar aproximadamente 10 gramas de solo, a serem submetidos à estufa a 105°C por um período de 24 horas, para a determinação da umidade.

Uma vez que as amostras irradiadas e não irradiadas estejam acondicionadas nos erlenmeyers, proceder-se-á à adição de 80 mililitros da solução extratora (K₂SO₄), utilizando uma proveta de 100 mililitros para a medida precisa do volume.

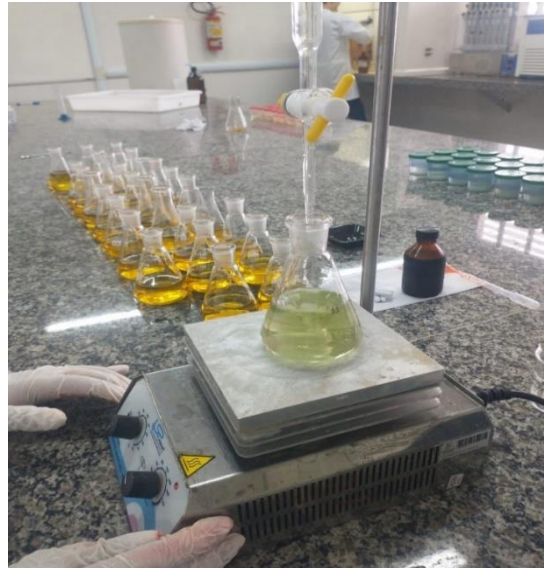
Figura 7 – Agitação dos frascos em agitador orbital (A) e processo espera para obtenção de sobrenadante com posterior filtragem (B).



Fonte: Acervo dos autores

A partir do extrato filtrado foram transferidos 8 mL para um erlenmeyer de 250 mL, na sequência adicionados 2 mL de solução 0,066 M de dicromato de potássio, 10 mL de ácido sulfúrico p.a. e 5 mL de ácido orto- fosfórico p.a., todos com o auxílio de pipeta, e em ordem cronológica. Aguardou-se um tempo para o resfriamento da solução foram adicionados 70 mL de água deionizada, aguardando novamente o resfriamento, e adicionando 4 gotas de difenilamina. A solução foi titulada sob agitação magnética com uma solução 0,033 M de sulfato ferroso amoniacal. Ao final da titulação, a coloração da solução alterou do púrpura para verde (Figura 8).

Figura 8 – Final da titulação com solução de com verde.

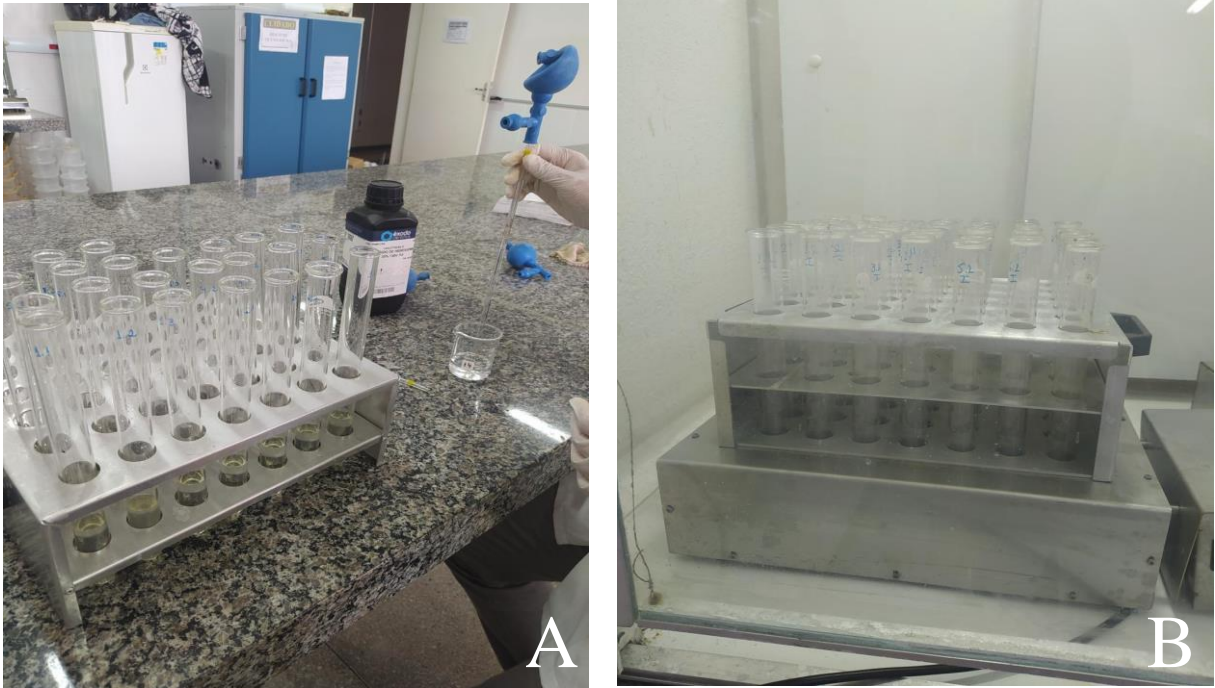


Fonte: Acervo dos autores.

Com os dados da respiração basal e carbono da biomassa microbiana foi determinado o quociente metabólico (qCO_2), calculado pela relação entre o CO_2 acumulado e o CBM (SILVA et al., 2007).

Para a determinação do nitrogênio da biomassa microbiana (NMIC), utilizou-se o mesmo extrato para amostras irradiadas e não irradiadas, obtido no processo para o carbono da biomassa microbiana, conforme recomendado por Silva et al. (2007a). A determinação do NMIC, após a obtenção do extrato seguiu a metodologia adaptada por Mendonça e Matos (2017). Foram transferidos 20 mL do extrato em tubos de digestão de 100 mL, e então adicionados: 1 mL de H_2O_2 à 30%, 2 mL de ácido sulfúrico, após o resfriamento adicionou-se 0,7 g de mistura de digestão (Figura 9 A). A solução obtida foi colocada no bloco digestor a $110^\circ C$ e a temperatura foi gradativamente elevada para $350-375^\circ C$ e mantida nessa temperatura por 2 horas (Figura 9 B), a solução adquiriu uma coloração amarelo-esverdeado. Após resfriamento foram adicionados 5 mL de água destilada e feita a agitação da solução.

Figura 9 – Transferência do extrato e adição de reagentes (A) e processo de digestão em bloco digestor para obtenção do nitrogênio da biomassa microbiana.



Fonte: Acervo dos autores

Cada tubo foi conectado ao destilador Kjeldahl e então se adicionou vagarosamente 10 mL de NaOH à 10 mol L⁻¹. Em seguida, foi feita a destilação em 5 mL do indicador ácido bórico (Figura 10), e após a coleta de cerca de 35 mL de destilado feita a titulação com ácido clorídrico à 0,005 mol.L⁻¹.

Figura 10 – Processo de destilação em destilador Kjeldahl



Fonte: Acervo dos autores

3.5 Análise de dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias, quando significativas, foram agrupadas segundo o Teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Toda a análise estatística foi realizada empregando um software livre Sisvar comumente utilizado no setor agrícola.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As fontes de variação níveis de substrato e combinação apresentaram resultado significativo ($p < 0,05$) para as variáveis RBASAL (respiração basal), QUOC (quociente metabólico) e NITROMIC (nitrogênio da biomassa microbiana). No entanto, para o CMIC (carbono da biomassa microbiana) houve efeito significativo apenas para a combinação (Tabela 1). Para a interação níveis de substrato x combinação de plantas, somente a variável NITROMIC foi significativa ($p < 0,05$) (Tabela 2). O CMIC não foi influenciado significativamente ($p < 0,05$) pelos tratamentos propostos.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância (ANOVA) com os dados dos atributos de solo contendo resíduos de sulfentrazone.

FV	GL	QM			
		CMIC	RBASAL	QUOC	NITROMIC
Bloco	3	20327,7345	13396603,3510	329,4336	4281,9010
Níveis de Substrato	3	22724,2451 ^{ns}	269470740,3952**	4502,3521**	434569,5266**
Combinação	7	52130,7845*	50424312,4121**	1147,0173*	66894,8804**
Níveis de Substrato x Combinação	21	33650,6899 ^{ns}	8056097,3765 ^{ns}	341,7273 ^{ns}	37052,7159**
Erro	93	26812.2972	5586528,8074	408,0423	8364,9480
Total	127				
CV (%)		52,77	41,42	81,80	28,93

^{ns}: não significativo pelo teste F a 5 %; *: significativo a 5 % pelo teste F; **: significativo a 1 % pelo teste F; CMIC: carbono da biomassa microbiana; RBASAL: respiração basal do solo; QUOC: quociente metabólico; NITROMIC: nitrogênio da biomassa microbiana

O maior valor de CMIC, 404,81 mg kg⁻¹ de C solo foi observado nas parcelas com ausência de plantas, sendo 53 % superior as parcelas com a combinação feijão de porco + mucuna e estatisticamente igual às demais combinações (Tabela 2). Possivelmente, este resultado relaciona-se com o histórico de uso da área, que antes da instalação do experimento

não era cultivado, mantendo uma determinada comunidade de microrganismos. Esta situação foi alterada com a semeadura de novas espécies vegetais, que podem ter alterado a composição da biota e conseqüentemente, num primeiro momento, reduzido a atividade dos microrganismos por competição com uma nova população no local. Este resultado é contrário ao observado por Santos et al. (2010), no qual, a atividade microbiana da rizosfera de *Stizolobium aterrimum* foi avaliada durante a fitorremediação de solos contaminados com herbicida e menores valores de CBM foram observados em solos tratados com herbicidas e não plantados com espécies fitorremediadoras. O resultado do presente trabalho também difere do encontrado por Tironi, et al. (2009), em que a aplicação do sulfentrazone não influenciou a o CBMIC. Considerando que o sulfentrazone apresenta pouca mobilidade na planta e baixa mobilidade em solo argiloso (ROSSI et al., 2005; VIVIAN et al., 2006), provavelmente ele não atingiu a região da rizosfera da cultura, não vindo a interferir diretamente na atividade microbiana da rizosfera.

Tabela 2 - Carbono da biomassa microbiana de solo contendo resíduos de sulfentrazone cultivado com diferentes combinações de plantas.

Combinação de plantas	CMIC (mg C kg ⁻¹ solo)
FP + CR + MU	354,81 ab
FP + CR	300,51 ab
FP + MU	216,49 b
CR + MU	302,59 ab
AP	404,81 a
FP	259,25 ab
MU	316,65 ab
CR	327,35 ab

AP: ausência de plantas; FP: feijão de porco; MU: mucuna; CR: crotalária; FP + CR: feijão de porco + crotalária; FP + MU: feijão de porco + mucuna; CR + MU: crotalária + mucuna; FP + CR + MU: feijão de porco + crotalária + mucuna. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A RBASAL foi influenciada negativamente pela presença do herbicida sulfentrazone com redução de 78% em relação ao tratamento sem herbicida (Tabela 3), sendo que a inoculação não interferiu para o aumento da atividade dos microrganismos. O sulfentrazone reduziu a atividade dos microrganismos conforme o observado por Childs (2007), que relatou efeitos de inibição na respiração ou atividade microbiana causados por uso de herbicidas, dentre eles o sulfentrazone, pois apresentam maior sensibilidade na detecção dos efeitos do herbicida. Resultados contrários foram observados por Santos et al. (2023), Souza et al., (2023) e Madalão et al. (2016), em que doses de sulfentrazone não tiveram efeito negativo na liberação de CO₂

em solo cultivado com espécies florestais, *Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*, respectivamente.

Tabela 3 - Respiração basal de solos contendo resíduos de sulfentrazone e com o cultivo de fitorremediadoras.

Níveis de substrato	RBASAL (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo dia ⁻¹)
SHI	8936,90 a
SHNI	6489,93 b
SNI	5456,20 b
SI	1944,72 c

SHNI: Sem Herbicida Não Inoculado; SHI: Sem Herbicida Inoculado; SI: Sulfentrazone Inoculado; SNI: Sulfentrazone Não Inoculado. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A parcela que recebeu o plantio da crotalária apresentou maior respiração basal, diferindo estatisticamente de todas as demais combinações (TABELA 4). Em trabalhos realizados por Araújo Neto et al (2014), a RBASAL foi maior na presença da crotalária, constatando aumento em solo coberto com essa espécie de adubo verde, promovendo acesso mais rápido a energia e realizando simbiose com os microrganismos.

Tabela 4 - Respiração basal de solos coletados em área de cultivo de leguminosas com resíduos de sulfentrazone.

Combinação de plantas	RBASAL (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo dia ⁻¹)
FP + CR + MU	4089,8893 b
FP + CR	4830,2675 b
FP + MU	4346,7925 b
CR + MU	5336,6712 b
AP	5036,8862 b
FP	6307,8593 b
MU	6028,2331 b
CR	9678,9450 a

*AP: ausência de plantas; FP: feijão de porco; MU: mucuna; CR: crotalária; FP + CR: feijão de porco + crotalária; FP + MU: feijão de porco + mucuna; CR + MU: crotalária + mucuna; FP + CR + MU: feijão de porco + crotalária + mucuna. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

O qCO₂ expressa o nível de estresse de uma população de microrganismos. O quociente é calculado dividindo a respiração basal pelo carbono da biomassa microbiana, em tese, quanto maior o valor do quociente, maior poderá ser o nível de estresse da população (ANDERSON & DOMSCH, 1993; HARTMAN & RICHARDSON, 2013). No presente trabalho foi observado resultado contrário, nas parcelas em que se tem a presença do herbicida, pode-se notar a redução do valor do qCO₂ (Tabela 5). Neste caso específico, provavelmente, a retomada da atividade

dos microrganismos em solo sem o stress provocado pela presença dos herbicidas, proporcionou uma elevada respiração da biota, com baixa fixação de carbono pelos microrganismos (PAZ-FERREIRO & FU, 2013). Resultado semelhante ao observado por Maladão (2014), que observou quociente metabólico menor nos tratamentos com a presença do sulfentrazone, em relação a testemunha. Esta situação não prejudicou o desenvolvimento das espécies remediadoras.

Tabela 5 - Quociente metabólico de solos contendo resíduos de sulfentrazone.

Níveis de substrato	qCO ₂ (µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo dia ⁻¹ /mg C/kg solo)
SHI	34,37 b
SHNI	32,64 b
SNI	23,28 b
SI	8,46 a

SHNI: Sem Herbicida Não Inoculado; SHI: Sem Herbicida Inoculado; SI: Sulfentrazone Inoculado; SNI: Sulfentrazone Não Inoculado. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A crotalária teve maior quociente metabólico quando comparado a parcela com ausência de plantas e com a combinação de feijão de porco, crotalária e mucuna, em relação às demais combinações, foram estatisticamente iguais (Tabela 6). O uso da crotalária pode ter apoiado a atividade microbiana, uma vez que a planta tem alta capacidade de estimular microrganismos no ambiente da rizosfera sendo que o efeito da rizosfera na microbiota do solo é específico da espécie (MIELKE et al., 2020).

Tabela 6 - Quociente metabólico de solos coletado em área de cultivo de leguminosas com resíduos de sulfentrazone.

Combinação de plantas	qCO ₂ (µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo dia ⁻¹ /mg C/kg solo)
FP + CR + MU	15,3100 b
FP + CR	25,0662 ab
FP + MU	29,5825 ab
CR + MU	20,3981 ab
AP	14,5925 b
FP	27,2831 ab
UM	24,4218 ab
CR	40,8943 a

AP: ausência de plantas; FP: feijão de porco; MU: mucuna; CR: crotalária; FP + CR: feijão de porco + crotalária; FP + MU: feijão de porco + mucuna; CR + MU: crotalária + mucuna; FP + CR + MU: feijão de porco + crotalária + mucuna. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

O NMIC foi influenciado na parcela SHI com aumento de 54% em relação às parcelas com sulfentrazone sem inoculação das sementes (Tabela 7). Resultado semelhante foi

observado por Schwerz et al. (2017), em meio de cultura cultivando a bactéria *Azospirillum amazonense* na presença do herbicida sulfentrazone, foi observado limitação no crescimento da bactéria.

O maior valor de NMIC foi observado nas parcelas com crotalária e mucuna, sendo 44 % superior as parcelas com a combinação FP + CR + MU e 12 % superior as parcelas com a combinação MU. Comparado com as parcelas AP, FP e CR são estatisticamente iguais (Tabela 7).

Tabela 7 – Nitrogênio da biomassa microbiana de solos coletado em área de cultivo de leguminosas com resíduos de sulfentrazone.

Combinação	Substratos				Média
	SHI	SNI	SHNI	SI	
	NITROMIC ((mg N Kg ⁻¹))				
FP+CR+MU	176,53 a	190,67 a	209,56 a	334,94 a	227,9275 d
FP+CR	307,16 a	181,70 a	281,59 a	217,42 a	246,9706 cd
FP+MU	516,54 a	135,07 b	213,11 b	167,47 b	258,0493 bcd
CR+MU	632,61 a	421,48 b	342,27 bc	252,03 c	412,0975 a
AP	658,47 a	125,43 c	364,77 b	268,17 bc	354,2106 ab
FP	563,52 a	183,09 b	270,48 b	331,97 b	337,2700 abc
MU	559,40 a	245,77 b	273,06 b	363,41 b	360,4125 b
CR	479,38 a	302,84 b	244,85 b	302,27 b	332,3387 abc
Média	486,70 a	223,26 b	274,96 b	279,71 b	

Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

SHNI: Sem herbicida e sementes não inoculadas; SHI: Sem herbicida e sementes inoculadas; SNI: sulfentrazone e sementes não inoculadas; SI: sulfentrazone e sementes inoculadas.

AP: ausência de plantas; FP: feijão de porco; MU: mucuna; CR: crotalária; FP + CR: feijão de porco + crotalária; FP + MU: feijão de porco + mucuna; CR + MU: crotalária + mucuna; FP + CR + MU: feijão de porco + crotalária + mucuna.

Fonte: o autor

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados neste trabalho, conclui-se que, o sulfentrazone influenciou negativamente na respiração basal das leguminosas, reduzindo-a com relação aos tratamentos sem herbicida.

A crotalária, por ter uma alta capacidade de estimular os microrganismos no ambiente, aumentou o quociente metabólico quando comparado a parcela com ausência de plantas.

REFERÊNCIAS

AGROADVANCE. **Quando realizar o controle de plantas daninhas: Entendendo os 3 momentos críticos de intervenção.** Disponível em: <<https://agroadvance.com.br/blog-controle-de-plantas-daninhas-quando-fazer/>>. Acesso em 05/10/2023.

AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários.** Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em 23/09/2023.

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, 2011.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; GUIRADO, N.; ROSSI, F. **Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures.** *Scientia Agricola*, v. 66, n. 3, p. 386-394, May/June, 2009. DOI: 10.1590/S0103-90162009000300014.

ANDERSON, J.P.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.

BARRADAS, C. A. A; FREIRE, L. R.; ALMEIDA, D.L.; DE-POLLI H. Comportamento de alguns adubos verdes de inverno na Região Serrana Fluminense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 36: 1461-1468, 2001.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. cap. 2, p. 9-26.

BELL, T., NEWMAN, J. A., SILVERMAN, B. W., TURNER, S. I., LILEY, A. K. **The contribution of species richness and composition to bacterial services.** *Nature*, V. 436, p. 1157-1160, 2005.

Bull, D., & Hathaway, D. (1986). **Pragas e venenos; agrotóxicos no Brasil e no terceiro mundo.** In *Pragas e venenos; agrotóxicos no Brasil e no terceiro mundo.* Vozes.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, , Campinas, v. 14, n. 2, p. 133-142, maio/ago. 1990.

Chang, Y., Corapcioglu, M. Y. (1998). **Plant-enhanced subsurface bioremediation of nonvolatile hydrocarbons.** *Journal of Environmental Engineering*, 112, 162–169.

Chaves, L. H. G., Mesquita, E. F., Araujo, D. L., & França, C. P. (2010). **Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta.** *Engenharia-Ambiental-Espirito Santo do Pinhal*, 7(3), 263-277

CLAY, D.V. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. In: STREIBIG, J. C.; KUDSK, P. **Herbicide bioassays**. Florida: CRC Press, 1993. p.153-172.

COOPER, J.; HANS, D. The benefits of pesticides to mankind and the environment. **Science Direct**, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/paperinformation.aspx?paperid=63091>> . Acesso em: 27 junho 2023.

DE LUCA, T.H. Relationship of 0,5 M K₂SO₄ extractable anthrone reactive carbon to indices of microbial activity in forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.1293-1299, 1998.

DIONÍSIO, J. A; PIMENTEL, I. C; SIGNOR, D. **Respiração microbiana**. In: DIONÍSIO, J. A; PIMENTEL, I. C; SIGNOR, D; PAULA, A. M; MACEDA, A; MATANNA, A. L. Guia prático de biologia do solo. Curitiba: SBCS: NEPAR, 2016. Cap. 12, p. 72-77.

DINARDI, A. L. et al. FITORREMEDIAÇÃO. In: III FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 2003, Rio Claro. Fitorremediação. Rio Claro: Faculdades Integradas Claretianas, 2003. V. 1, p. 1 – 15.

Doumett, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S. et al. (2008). **Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents**. Chemosphere, 72, 1481- 1490. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.04.083.

EMBRAPA. **Manejo Agroecológico do Solo: os Benefícios da Adubação Verde**. Teresina, PI, 2009. Disponível em : <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/663866/manejo-agroecologico-do-solo-os-beneficios-da-adubacao-verde>>. Acesso em 05/10/2023.

EMBRAPA. **Períodos de convivência entre plantas daninhas e a cultura da soja**. Disponível em: <[EMBRAPA. **Pré-emergente é uma das alternativas para manejo de plantas daninhas resistentes**. Disponível em: <\[EMBRAPA. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas: conceitos, origem e evolução**. Passo Fundo, RS, 2006.\]\(https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/43589195/pre-emergente-e-uma-das-alternativas-para-manejo-de-plantas-daninhas-resistentes#:~:text=%E2%80%9CComo%20os%20pr%C3%A9-emergentes%20t%C3%AAm,as%20culturas%20agr%C3%ADcolas%E2%80%9D%2C%20explica.>>. Acesso em 23/09/2023.</p>
</div>
<div data-bbox=\)](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/manejo-de-plantas-daninhas/periodos-de-convivencia-entre-plantas-daninhas-e-a-cultura-da-soja#:~:text=Tamb%C3%A9m%20existe%20o%20per%C3%ADodo%20chamado,produtividade%20n%C3%A3o%20seja%20alterada%20significativamente.>>. Acesso em 05/10/2023.</p>
</div>
<div data-bbox=)

EPA. (2000). **Introduction of phytoremediation**. EPA/600/ R-99/107. Recuperado em 5 Maio 2012, de <http://nepis.epa.gov>.

FIGUEREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; FERREIRA, E.A.B. & RAMOS, M.L.G. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no cerrado.** R. Bras. Ci. Solo, 31:551-562, 2007.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. **Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental: Solo, Água e Sedimentos.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006, 169 p.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONS, F.M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.395-405, 1999.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. p.227-243.

Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa, J. R., De La Rosa, G., & Parsons, J. G. (2005). **Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy.** Coordination Chemistry Reviews, 249, 1797- 1810. doi:10.1016/j.ccr.2005.01.001.

GRATÃO,P.L; PRASAD,M.N.V.; CARDOSO,P.F.; LEAD,.P.J.; AZEVEDO, R.A.A. **Phytoremediation:green technology for the clean up of toxic metals in the environment.** Brazilian journal of Plant Physiology, Campinas, v.17, n.1, p. 53-64, 2005.

GRISI, B.M. & GRAY, T.R.G. **Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta à adição de glicose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana do solo.** R. Bras. Ci. Solo, 10:109-115, 1986.

HERNANI, L,C; **Microrganismos.** Portal Embrapa, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto/fundamentos/beneficios/ao-solo/biologia-do-solo/microrganismos>>. Acesso em: 29 junho 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**, c2021. LSPA: **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamentosistemático-da-produção-agrícola.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 27 junho 2023.

JACTO. **O que é análise microbiológica do solo? Veja algumas razões para investir.** Disponível em: <<https://blog.jacto.com.br/analise-microbiologica-do-solo/>>. Acesso em 14/10/2023.

KENNEDY, A.C. & PAPENDICK, R.I. **Microbial characteristics of soil quality.** J. Soil Water Conserv., 50:243-248, 1995.

KENNEDY, A.C. & SMITH, K.L. **Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils.** Plant Soil, 170:75-86, 1995.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. **Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, V.26, n.1, p.257-265,2002.

LOUX, M.M.; LIEBL, R.A.; SLIFE, F.W. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr, and clomazone in soil. **Weed Science**, v.37, n.1, p.259-267, 1989.

MALADÃO, J. C. et al. **Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes.** Revistas de Ciências Agrárias, v. 55, n. 4, p. 288-296, out./dez. 2012a.

MADADÃO, J. C. **Fitorremediação do sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo e sua sorção e dessorção em diferentes tipos de solos /** João Carlos Madalão. - Viçosa, MG, 2014.

MADADÃO, J. C. et al. **O herbicida sulfentrazone interfere na biomassa microbiana e na atividade da microbiota do solo.** Rev. Cienc. Agrar., v. 59, n. 1, p. 54-59, jan./mar. 2016.

MADADÃO, J. C. et al. **Uso de leguminosas na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 42, n. 4, p. 390-396, Goiânia, GO, 2012.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E., PERIM, L. **Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”).** Revista Brasileira de Herbicidas, v.10, n.2, p.151-164, Botucatu, SP, 2011.

MEDEIROS, T.S. de; GOMES, A.R.M.G.; ALVES; M.P.B.; MARCELINO, A. de S.; SANTOS, D. de M.; GIONGO; A.M.M.; COSTA, A.R. da. **Production of radish (*Raphanus sativus* L.) cultivated under bovine manure levels and soil basal respiration.** Brazilian Applied Science Review. Curitiba, v.3, n. 2, p. 1348-1357 p, 2595-3621. 2019.

MENDES, K. F.; DIAS, R. C.; REIS M. R. **Carryover e persistência de herbicidas em solos.** Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas.

MATIOLI, T.F; **Herbicidas pré-emergentes: o que são, como agem e quais os benefícios?.** Portal Adama, 2022. Disponível em: <<https://portaladama.com/herbicidas-pre-emergentes/>>. Acesso em: 29 junho 2023.

MIELKE, K. C., BERTUANI, R. R., PIRES, F. R., BUENO COTTA, A. J., EGREJA FILHO, F. B., & MADALÃO, J. C. Does *Canavalia ensiformis* inoculation with *Bradyrhizobium* sp. enhance phytoremediation of sulfentrazone-contaminated soil?. **Chemosphere**, 255, 127033 2020.

NEWMAN, L. A. & REYNOLDS, C. M. (2004) - **Phytodegradation of organic compounds.** **Current Opinion in Biotechnology**, v. 15, n. 3, p. 225-230.

OLIVEIRA, Débora Monteiro de *et al.* **Série Tecnologia Ambiental: fitorremediação: o estado da arte.** Rio de Janeiro: Cetem/McT, 2006. 50 p. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/330/1/sta-39.pdf>. Acesso em: 05 out. 2023.

OLIVEIRA, Francielle Santana de *et al.* **Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas.** In: OLIVEIRA, Francielle Santana de *et al.* **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** 2. ed. Espirito Santo: Mérida Publishers, 2021. Cap. 6. p. 243-275.

OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas.** Copyright 2011 Ominipax Editora Ltda. Curitiba, PR, 2011.

OLIVEIRA, M.F.; BRIGHENTI, A.M. Comportamento de herbicida no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). **Biologia e Manejo de plantas daninhas.** Curitiba, PR: Omnipax, 2011. p.141-192.

PACHECO, L. C. P. S. **Atividade de herbicidas pré-emergentes em solos do cerrado, na presença e ausência de resíduos orgânicos.** Dissertação (Doutorado em Agronomia, área de concentração: Solo e Água). Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO, 2017.

PATEL, F. **Eficiência Agronômica e Persistência de Herbicidas Pré-emergentes na Cultura da Soja.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2018.

PAZ-FERREIRO, J.; FU, S. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). **Land Degrad. Develop.**, v. 27, p. 14-25, 2013.

PERES, J. G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N.A.; **Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana de açúcar na umidade e na perda de água no solo.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 875-886, 2010.

PIRES F. R. et al. **Seleção de Plantas com Potencial para Fitorremediação de Tebuthiuron.** Planta Daninha, v.21, n.3, p.451-458, Viçosa, MG, 2003.

PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. **Terminologia para períodos de controle e convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15., 1984, Belo Horizonte. Resumos... Belo Horizonte: SBHED, 1984. p. 37.

ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JUNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.

ROSS, M.A.; LEMBI, C.A. **Applied weed science.** 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 452 p.

SALOMÃO, P.; FERRO, A.; RUAS, W. Herbicides in Brazil: a brief review. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. 22, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.1990>>. Acesso em: 27 junho 2023.

SANTOS, M. S. **Benefícios e limitações do uso de herbicidas pré-emergentes.** + Soja, 2022.

SANTOS, M. S. **Uso de herbicidas pré-emergentes no controle de plantas daninhas em milho**. Equipe Mais Soja, 2022. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/uso-de-herbicidas-preemergentes-no-controle-de-plantas-daninhas-em-milho/>>. Acesso em: 21 junho 2023.

SANTOS, C. F. dos; NOVAK, E. Plantas nativas do cerrado e possibilidades em fitorremediação. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, vol. 7, n. 1, jul. 2013.

SANTOS, E. A.; SOUTO, K. M.; AVILA, L. A.; CASSOL, G.; MACHADO, S. O.; JACQUES, R. J. S.; ZANELA, R.; RECK, L. Atividade rizosférica de solo tratado com herbicida durante processo de remediação por *Stizolobium aterrimum*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.1, p.1-7, 2010.

SANTOS, E. A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi activity in the rhizosphere of tree seedlings subjected to residual herbicides. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e242676, 2023. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.242676>.

SILVA, E. E.; AZEVEDO; P. H. S.; DE-POLLI, H.. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Comunicado Técnico 99. Embrapa. 2007.

SILVA, E. E.; AZEVEDO; P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-C)**. Comunicado Técnico 99. Embrapa. 2007a.

SILVA, J. M.; ALBURQUERQUE, L. S. D.; SANTOS, T. M. C. D.; OLIVEIRA, J. U. L. D.; GUEDES, E. L. F. Mineralização de vermicompostos estimada pela respiração microbiana. **Revista Verde**, Pombal, PB, v. 8, n. 4, p. 132-135, 2013.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURTI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SOUZA, A. J.; SANTOS, E.; RIBEIRO, F. P.; ARAÚJO PEREIRA, A. P.; VIANA, D. G.; SILVA COELHO, I.; SANTAREN, K. C. F. *Crotalaria juncea* L. enhances the bioremediation of sulfentrazone-contaminated soil and promotes changes in the soil bacterial community. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 54, p. 2319–2331, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-01064-5>.

STENBERG, B. **Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators**. Soil Plant Sci., 49:1-24, 1999.

SUSARLA, S., MEDINA, V. F., & MCCUTCHEON, S. C. **Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination**. Ecological Engineering, v. 18, p. 647-658, 2002. doi:10.1016/S0925-8574(02)00026-5.

SCHWERZ, L. A.; TIRONI, S. P.; PETRY, S.; PIES, W.; LUZ, A. C. P.; WERLANG, T.; **Desenvolvimento e fixação de nitrogênio in vitro de Azospirillum amazonense em diferentes doses de herbicidas**. 9º SIEPE - Salão Internacional de ensino pesquisa e extensão, v.9, n.4, Apresentação Pôster, novembro, 2017.

VIVIAN, R. et al. Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 741-750, 2006.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-CNPAP; Embrapa-CNPSO, 1994. p.419-436.