

**FITORREMEDIÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM AMETRYNE UTILIZANDO
CROTALÁRIA (*Crotalaria juncea*) E MILHETO (*Pennisetum typhoides*)**

Marcus Augusto da Silva Filho

Ricardo Vicentin Carvalho

Raphael Philippe Dias Jorge¹Oscar Mitsuo Yamashita²Marco Antonio Camillo de Carvalho³Ana Carolina Dias Guimarães⁴**RESUMO:**

O emprego de espécies vegetais que apresentem capacidade fitorremediadora pode ser uma das alternativas para reduzir a persistência de agroquímicos no ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar a fitorremediação do herbicida ametryne em vaso, pelas espécies *Crotalaria juncea* (crotalária) e milheto *Pennisetum typhoides* (milheto), em diferentes doses do herbicida. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por duas espécies diferentes (crotalária e milheto), submetidas a quatro doses de ametryne (0,0; 0,75; 1,5; 3,0 kg ha⁻¹), aplicadas um dia antes da semeadura das espécies e avaliadas em três épocas diferentes de colheita (20, 40 e 60 Dias Após Semeadura). Foram avaliados emergência de planta, altura das plantas, massa seca da parte aérea e raiz. Tanto crotalária como milheto foram capazes de se desenvolver em solos contaminados com até 50% da dose comercial de ametryne, entretanto com 100% da dose recomendada, as espécies não tiveram desempenho suficiente para fitorremediar os solos.

Palavras-chave: descontaminação, herbicida, culturas.

ABSTRACT:

The use of plant species showing phytoremediate capacity may be one of the alternatives to reduce the persistence of chemicals in the environment. The purpose of this study was to evaluate the phytoremediation of herbicide ametryne in pot, the species *Crotalaria juncea* (sun hemp) and millet *Pennisetum typhoides* (millet) in different doses of the herbicide. The experimental design was completely randomized, with four replications. The treatments were composed of two different species (sun hemp and millet), submitted to four doses of ametryne (0.0, 0.75, 1.5, 3.0 kg ha⁻¹), applied a day before the planting of species and evaluated in three different periods of harvest (20, 40 and 60 days after sowing). We evaluated emergence of plant, plant height, dry weight of shoot and root. Both sunhemp as millet have been able to develop in soils contaminated with up to 50% of the dose of commercial ametryne, however with 100% of the recommended dose, these species did not have enough performance to phytoremediate the soil.

Key words: decontamination, herbicide, crops.

¹ Especialização em Avaliação De Impacto Ambiental E Recuperação De Áreas Degradadas Pela Faculdade De Ciências Sociais e Aplicadas De Diamantino, Brasil. Analista Geotecnologia Do Pecuária Sustentável Da Amazônia, Brasil raphaelphilippe@hotmail.com

² Doutorado em Agricultura Tropical pela Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil. Professor da Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil yama@unemat.br

³ Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil. Professor Adjunto da Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil marcocarvalho@unemat.br

⁴ Doutorado em Fitotecnia pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Brasil. Representante Docente Colegiado Regional da Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil acrdias@unemat.br

1. INTRODUÇÃO

Um problema que vem sendo observado frequentemente em propriedades rurais é o efeito residual de herbicidas. Esses resíduos têm permanecido no solo por longos períodos, causando fitotoxicidade em culturas sensíveis, cultivadas após a utilização de determinados herbicidas (SANTOS et al., 2018).

Na tentativa de despoluir esses solos, tem-se optado por métodos de baixo custo e de fácil execução, como o método da fitorremediação. A fitorremediação utiliza plantas como organismos descontaminantes de solos e água, podendo ser usada em áreas contaminadas com substâncias orgânicas e inorgânicas (CUNNINGHAM et al., 1996; ALVES et al., 2018).

A prática da fitorremediação é baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. Este fato é de ocorrência comum em espécies agrícolas e daninhas, tolerantes a certos herbicidas (CYCON et al., 2017).

A seletividade se deve ao fato de que os compostos orgânicos podem ser translocados para outros tecidos da planta e subsequente volatilizados; podem ainda sofrer parcial ou completa degradação ou ser transformados em compostos menos tóxicos, combinados e/ou ligados a tecidos das plantas (compartimentalização) (ACCIOLY &

SIQUEIRA, 2000; SANTOS et al., 2019). A seletividade dos herbicidas às culturas varia em função do modo de aplicação do estágio da planta no momento da aplicação e da arquitetura foliar, da dose utilizada, das condições climáticas, da adição de surfactantes, da variedade ou cultivar (COBUCCI & PORTELA, 2001; HUANG et al., 2018). Diversos trabalhos relatam o efeito positivo da utilização de plantas na descontaminação do solo (ANDERSON & COATS, 1995; BALDISSARELLI et al., 2019; CHEN et al., 2019; TARLA et al., 2020).

O ametryne (2-etilamina-4-isopropilamina-6-metiltio-s-2,4,6-triazina) é um herbicida pertencente ao grupo das s-triazinas utilizado no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar no Brasil. Esta molécula apresenta propriedades físico-químicas que lhe confere uma elevada persistência no ambiente, podendo persistir por até seis meses no solo. Sua aplicação, na maioria das vezes, é feita em pré-emergência e geralmente precede em alguns dias a aplicação da vinhaça em soqueiras de cana (RODRIGUES & ALMEIDA, 1995).

O presente trabalho teve como objetivo estudar a capacidade de descontaminação de um latossolo tratado com doses crescentes do herbicida Ametryne, através de crotalária (*Crotalaria juncea*) e milheto (*Pennisetum typhoides*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram escolhidas duas espécies de plantas com provável potencial de tolerância ao herbicida ametryne a serem utilizadas na fitorremediação do solo. Foram selecionadas espécies que apresentem valor agrícola/econômico, buscando seu aproveitamento na agricultura. As espécies são crotalária (*Crotalaria juncea*) e milheto (*Pennisetum typhoides*).

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação na Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Universitário de Alta Floresta-MT. O solo utilizado como substrato foi o Latossolo vermelho-amarelo distrófico, retirado de área de vegetação de mata, sem histórico de uso de qualquer defensivo agrícola, em profundidade de 0-20cm e posteriormente peneirado em malha de 0,4cm. O resultado da análise química e física do solo estão na Tabela 1.

Tabela 1. Análise de solo realizada no laboratório de análises químicas Plante Certo Ltda, Várzea Grande-MT.

Amostra	Profundidade	QUÍMICA											FÍSICA			
		pH	pH	P	K	K	Ca+Mg	Ca	Mg	Al	H	H+Al	M.O	Areia	Silte	Argila
		H ₂ O	CaCl ₂	mg/dm ³			cmolc/dm ³						g/dm ³	g/kg		
1	00/20	6.6	6.1	1.6	99	0.25	7.88	6.88	1.00	0.00	1.63	1.63	36	507	100	393

O experimento foi montado em delineamento experimental inteiramente casualizado com 4 repetições. Foi constituído por 2 espécies vegetais, 4 doses de ametryne e 3 épocas de colheita. As unidades experimentais foram representadas por vasos com capacidade de 2 litros.

Após o preenchimento dos vasos com o substrato, foi realizada a aplicação de ametryne, em pré-emergência das espécies nas doses de 0,0; 0,75; 1,5; 3,0 kg.ha⁻¹ do produto comercial (Gesapax 500), equivalendo a 0, 25, 50 e 100% da dose recomendada para a cultura da cana (3 kg.ha⁻¹), simulando níveis crescentes de contaminação do solo. O herbicida ametryne foi aplicado com

equipamento costal pressurizado com CO₂, munido de ponta de jato plano SF 110.02. O volume da aplicação foi regulado para 200 L.ha⁻¹.

No dia seguinte à aplicação do herbicida, foi realizada a semeadura das espécies, semeando-se 5 sementes por vaso a 2cm de profundidade. Após isso, os vasos foram irrigados procurando manter a capacidade de campo a 80%. Para determinar a seletividade de ametryne às espécies, foram realizadas avaliações aos 20, 40 e 60 dias após a semeadura (DAS) através da determinação de: emergência de plantas, altura de planta, a massa seca da parte aérea e raiz.

A altura das plantas foi medida com auxílio de uma régua graduada, medindo-se do

colo até o meristema apical na dicotiledônea e até a extremidade da última folha na gramínea.

Foi determinada a massa seca na parte aérea e das raízes, ou seja, o material foi colhido, separando-se raízes de ramos e folhas, acondicionados em sacos de papel e secados em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C por um período de 72 horas.

Após a coleta de dados, estes foram submetidos a análise de variância e as médias

comparadas entre si. Os dados foram organizados em gráficos e tabelas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

CROTALÁRIA

De acordo com a Tabela 2, onde foi avaliada a emergência de plantas de crotalária, em solo tratado com doses crescentes de ametryne, os valores foram significativos apenas na avaliação aos 60 dias.

Tabela 2. Quadrado médio dos valores obtidos em ensaio avaliando a emergência de plantas de crotalária em solo tratado com doses crescentes de ametryne. UNEMAT.

F.V.	ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO		
	20 DIAS	40 DIAS	60 DIAS
DOSE	0,044952ns	0,124281ns	1,860263*
Resíduo	0,038674	0,044354	0,083858
C.V.	9,21	11,18	16,18
DMS	0,36	0,38	0,52

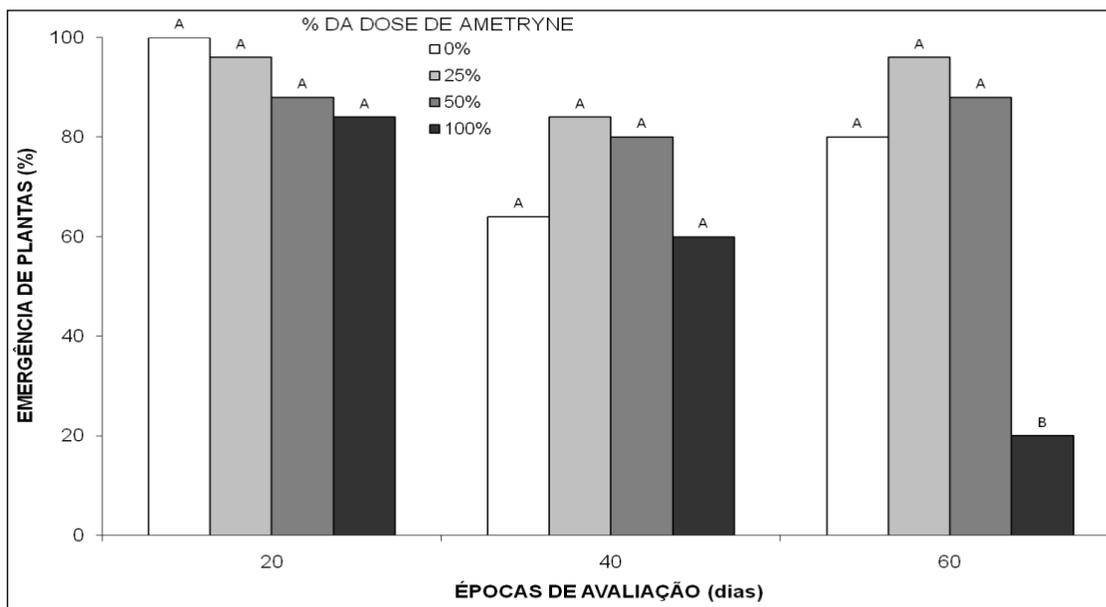
* significativo a 5% de probabilidade.

ns: não significativo

Foi observado que, mesmo em doses elevadas de ametryne, ocorreu germinação de sementes de crotalária em percentual acima de 80%. As plântulas, aos 20 dias, período da primeira avaliação, foram contadas sendo observado uniformidade nos outros vasos cuja avaliação seria realizada posteriormente (40 e 60 dias). Entretanto, no momento da segunda avaliação, após 40 dias da sementeira, parte das

plantas morreram. Apesar de não ser observada diferença entre as médias, a maior dose aplicada no solo já indicava efeito prejudicial nas plantas cultivadas nesse substrato. E, aos 60 dias, período em que foi realizada a última avaliação, a emergência não passou de 20%, ou seja, mesmo havendo germinação e emergência de plântulas, estas não sobreviveram após 60 dias da sementeira (Figura 1).

Figura 1- Percentagem de emergência de plantas de crotalária cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida ametryne e em diferentes épocas de avaliação. UNEMAT.



A persistência do ametryne no solo é bem conhecida (SANTOS et al., 2018). A sua meia-vida é relativamente longa, o que significa que ele pode permanecer no ambiente por um período considerável (RODRIGUES & ALMEIDA, 1995). O efeito observado após 60 dias pode ser um reflexo dessa persistência.

O ametryne é uma s-triazina e tem características físico-químicas que podem influenciar sua interação com as plantas. O seu alto nível de persistência no ambiente torna a fitorremediação uma abordagem importante para lidar com a contaminação por esse herbicida.

A Tabela 2 a Figura 1 revelam uma variação temporal na resposta das plantas à

contaminação. Esses resultados sugerem que o efeito do ametryne nas plantas de crotalária pode não ser imediatamente aparente, mas se torna mais pronunciado ao longo do tempo.

Assim, o resultado significativo após 60 dias destaca a importância de um monitoramento de longo prazo em estudos de fitorremediação. Os efeitos podem não ser imediatamente evidentes e podem surgir à medida que o tempo passa.

Quanto à variável altura de plantas, observa-se na Tabela 3, que houve diferença significativa na épocas avaliadas de 40 e 60 dias, entretanto, aos 20 dias, a altura de plantas da espécie crotalária não foi influenciada pelas doses de ametryne.

Tabela 3. Quadrado médio dos valores obtidos em ensaio avaliando a altura de plantas de crotalária em solo tratado com doses crescentes de ametryne. UNEMAT.

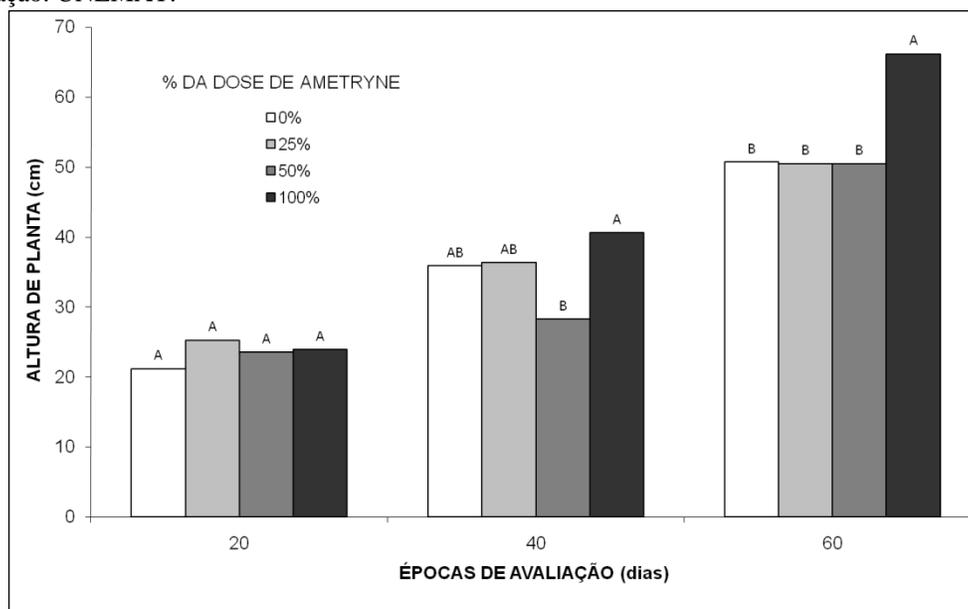
F.V.	ALTURA DE PLANTA		
	20 DIAS	40 DIAS	60 DIAS

DOSE	0,157753ns	0,951568*	1,286390*
Resíduo	0,083992	0,168798	0,199247
C.V.	6,00	6,95	6,07
DMS	0,13	0,74	0,81

* significativo a 5% de probabilidade.

ns: não significativo

Figura 2- Altura de plantas de crotalária cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida ametryne, em diferentes épocas de avaliação. UNEMAT.



Na primeira avaliação (20 dias), não foi observada qualquer diferença entre plantas, mesmo na maior dose indicando que, nesse intervalo de tempo, mesmo havendo qualquer prejuízo no desenvolvimento das plantas, isso não foi percebido pela determinação dessa variável. Aos 40 dias, observou-se uma variação anormal na altura de planta.

Estes dados indicam alterações no desenvolvimento das plantas. Nessa data, já foi possível observar altura média de plantas superior

aos demais tratamentos quando foi aplicada a maior dose de ametryne. E aos 60 dias, a anormalidade no desenvolvimento de plantas foi mais acentuada, sendo observado altura significativamente maior em plantas cultivadas em solo contaminado com 100% da dose de ametryne (Figura 2). Esses resultados assemelham-se aos obtidos por Procópio et al. (2004), que relataram aumento na altura de plantas no decorrer do tempo.

A capacidade de diferentes plantas em lidar com herbicidas varia em função de diversos fatores. Algumas espécies podem ser mais resistentes ou adaptadas à presença de ametryne, enquanto outras podem ser mais sensíveis. A escolha das espécies e doses apropriadas é crucial para o sucesso da fitorremediação. Fatores como condições climáticas, umidade do solo e interações com microrganismos podem influenciar a eficácia da fitorremediação. Esses fatores podem explicar a variação observada nos resultados ao longo do tempo.

Em resumo, os resultados da tabela indicam que o ametryne afetou a altura das plantas

de crotalária de forma significativa, com efeitos mais pronunciados nas avaliações realizadas após 40 e 60 dias. Isso destaca a sensibilidade das plantas à contaminação por ametryne e a importância de avaliar os efeitos a longo prazo, o que é crucial para entender os resultados da fitorremediação.

Conforme a Tabela 4, pode-se observar que não houve diferença significativa nos valores de massa seca da parte aérea entre as crescentes doses do herbicida dentro das diferentes épocas de avaliação na espécie crotalária, podendo também ser observado na Figura 3.

Tabela 4. Quadrado médio dos valores obtidos em ensaio avaliando o peso de massa seca da parte aérea de plantas de crotalária em solo tratado com doses crescentes de ametryne.

F.V.	MASSA SECA AÉREA		
	20 DIAS	40 DIAS	60 DIAS
DOSE	0,009790ns	0,044290ns	0,160245ns
Resíduo	0,007837	0,008328	0,020060
C.V.	12,38	9,81	11,48
DMS	0,16	0,17	0,26

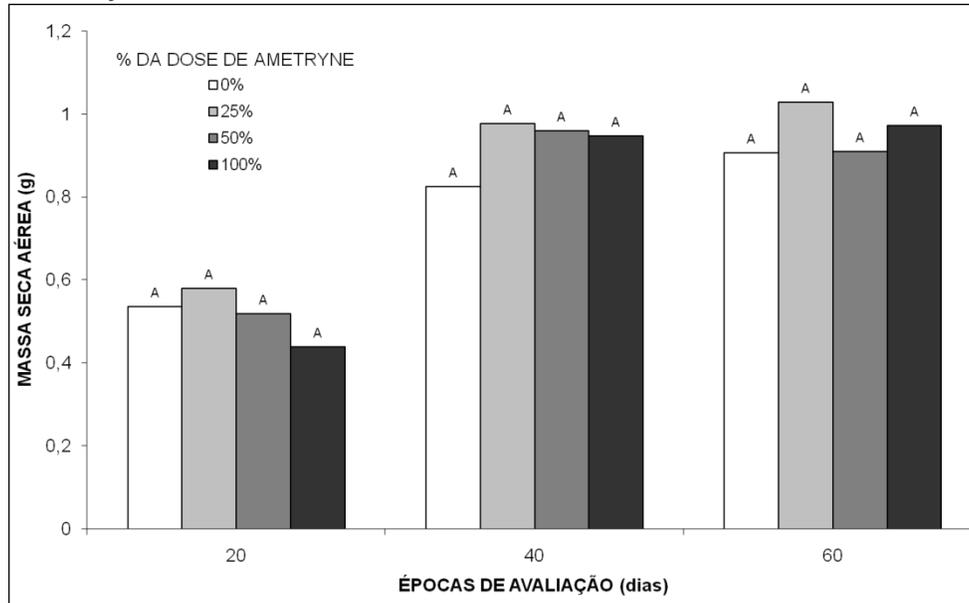
* significativo a 5% de probabilidade.

ns: não significativo

Apesar do aumento da altura de plantas, observado quando a espécie foi cultivada na maior dose de ametryne; esse crescimento não promoveu incremento da massa seca da parte aérea das plantas. A alteração fisiológica promovida pelo

herbicida pode ter provocado crescimento anormal da planta sem o acúmulo de matéria seca. Assim, em todas as avaliações realizadas, não foi observada diferença entre as doses (Figura 3).

Figura 3- Peso de massa seca da parte aérea de plantas de crotalária em diferentes doses do herbicida ametryne e em diferentes épocas e avaliação.



A ausência de efeitos significativos nas massas secas da parte aérea pode ser uma observação importante para entender a resposta da crotalária ao ametryne. É possível que a crotalária, nesse contexto, não tenha demonstrado uma sensibilidade significativa ao ametryne em termos de produção de massa seca da parte aérea, ou que a resposta tenha sido mais sutil e não detectada pela análise estatística.

Em resumo, os resultados das Tabela 4 e Figura 3 indicam que não houve efeitos significativos das diferentes doses de ametryne no peso da massa seca da parte aérea das plantas de

crotalária nas três épocas de avaliação. Isso destaca a importância de avaliar múltiplos parâmetros ao considerar a resposta das plantas à contaminação por herbicidas, já que diferentes aspectos do crescimento podem ser afetados de maneira diferente.

Quanto à de massa seca da raiz, observou-se que houve diferença significativa aos 20 e 60 dias, entretanto, aos 40 dias, essa variável não foi influenciada pelas doses crescentes de ametryne (Tabela 5).

Tabela 5. Quadrado médio dos valores obtidos em ensaio avaliando massa seca da raiz de plantas de crotalária em solo tratado com doses crescentes de ametryne.

F.V.	MASSA SECA RAIZ		
	20 DIAS	40 DIAS	60 DIAS
DOSE	0,010498*	0,020901ns	0,149088*

Resíduo	0,002780	0,012485	0,013864
C.V.	20,26	17,68	14,30
DMS	0,02	0,20	0,21

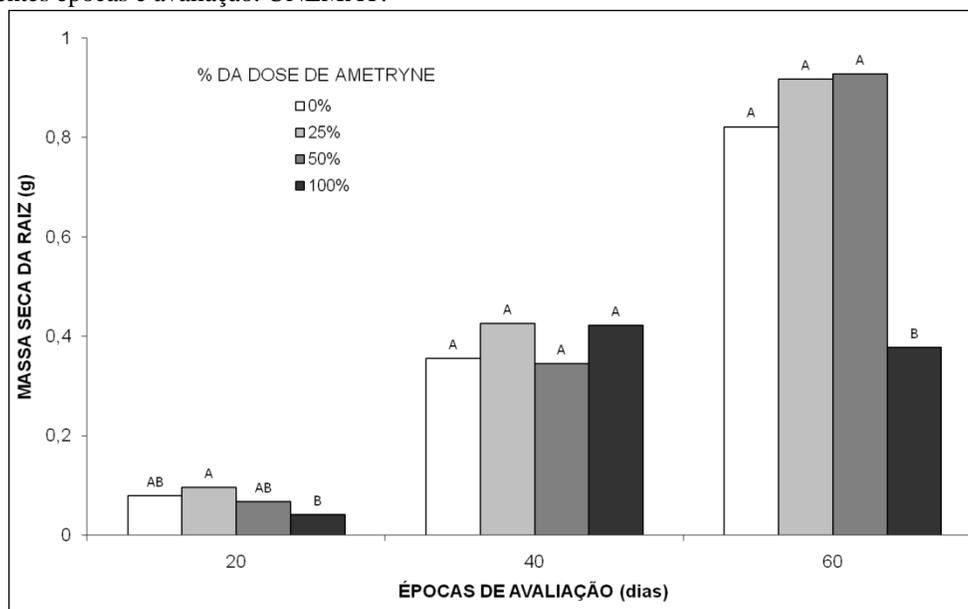
* significativo a 5% de probabilidade.

ns: não significativo

Aos 20 dias observou-se uma variação grande, no desenvolvimento do sistema radicular de crotalária, sendo identificada redução significativa na massa seca dessa parte da planta quando esta foi cultivada na dose de 100% de

ametryne (Figura 4). Apesar de não ser observada diferença entre as doses aos 40 dias, na última avaliação (60 dias), ficou claro o efeito prejudicial de ametryne no desenvolvimento radicular dessa espécie.

Figura 4- Massa seca da raiz de plantas de crotalária cultivada em solo com doses crescentes do herbicida ametryne e em diferentes épocas e avaliação. UNEMAT.



O fato de que o ametryne afetou significativamente a massa seca das raízes em diferentes momentos destaca a importância da fitorremediação em avaliar a resposta de diferentes partes das plantas aos herbicidas. Os resultados podem indicar que, dependendo das doses e do tempo de exposição, o ametryne pode

ter um impacto na saúde e no desenvolvimento das raízes das plantas.

Em resumo, os resultados da tabela indicam que o ametryne afetou significativamente a massa seca das raízes das plantas de crotalária, com efeitos mais pronunciados nas avaliações realizadas após 20 e 60 dias. Isso ressalta a

importância de considerar não apenas a parte aérea, mas também as raízes, ao avaliar a resposta das plantas à contaminação por ametryne e outras substâncias químicas.

MILHETO

De acordo com a Tabela 6, avaliando-se a emergência de plantas de milho em solo tratado com doses crescentes de ametryne, os valores

foram não-significativos em todas as épocas (20, 40 e 60 dias).

O milho mostrou-se tolerante à ação herbicida no solo. A emergência das plantas não foi influenciada pela variação das doses de ametryne aplicadas no solo; tanto aos 20 como aos 40 e 60 dias após a semeadura (Figura 5).

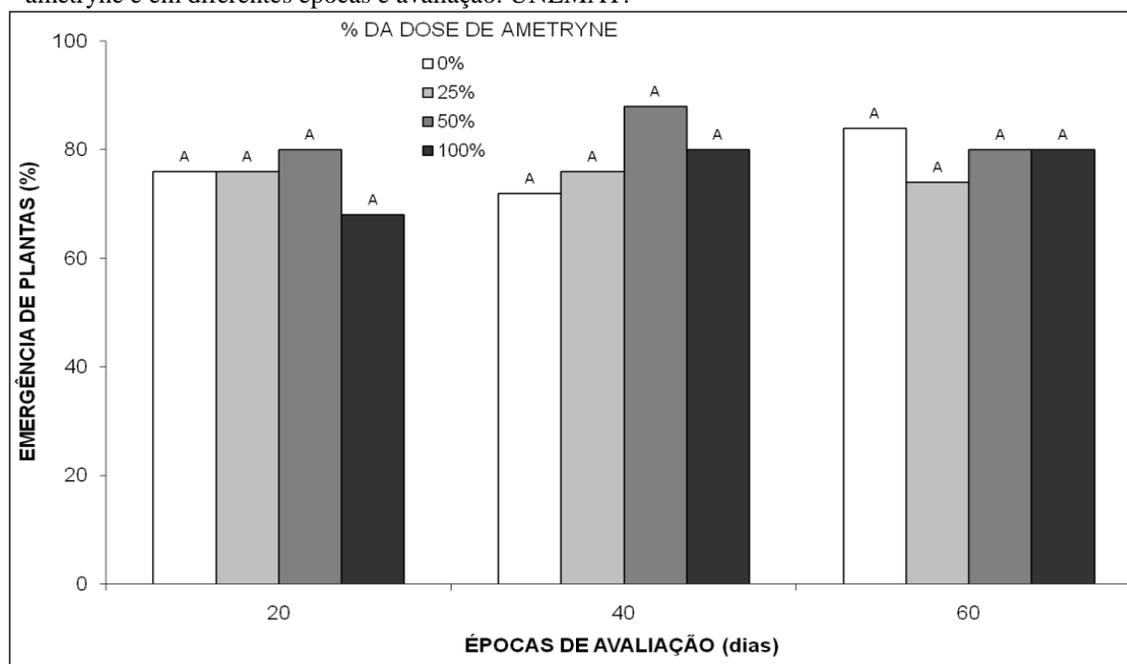
Tabela 6. Quadrado médio dos valores obtidos em ensaio avaliando a emergência de plantas de milho em solo tratado com doses crescentes de ametryne. UNEMAT.

F.V.	EMERGÊNCIA DE PLANTULAS		
	20 DIAS	40 DIAS	60 DIAS
DOSE	0,020793ns	0,036959ns	0,073631ns
Resíduo	0,114511	0,044720	0,025438
C.V.	17,70	10,70	8,16
DMS	0,61	0,38	0,29

* significativo a 5% de probabilidade.

ns: não significativo

Figura 5- Percentagem de emergência de plantas de milho cultivada em solo tratado com doses crescentes do herbicida ametryne e em diferentes épocas e avaliação. UNEMAT.



Com base nos resultados, aparenta-se que a emergência das plantas de milho não foi sensivelmente afetada pela presença de ametryne nas doses testadas.

As possíveis razões para este resultado podem ser relacionadas à maior tolerância desta espécie ao ametryne ou que os efeitos desse herbicida na emergência dessa planta sejam sutis e não detectáveis pela análise estatística.

A comparação com os resultados da crotalaria pode indicar que diferentes espécies têm diferentes respostas à contaminação por ametryne, o que destaca a importância de escolher as plantas adequadas para a fitorremediação.

Desta maneira, os resultados das Tabela 6 e Figura 5 indicam que a emergência das plantas de milho não foi afetada pelas doses crescentes de ametryne nas três épocas de avaliação. Isso pode sugerir que o milho apresenta uma resposta diferente à contaminação por ametryne em comparação com a crotalaria, ou que os efeitos na emergência foram sutis demais para serem detectados neste estudo.

Quanto à altura de plantas, observou-se (Tabela 7) que não houve diferença significativa dentro das épocas avaliadas. Essa variável não foi influenciada pelas doses crescentes de ametryne na cultura do milho.

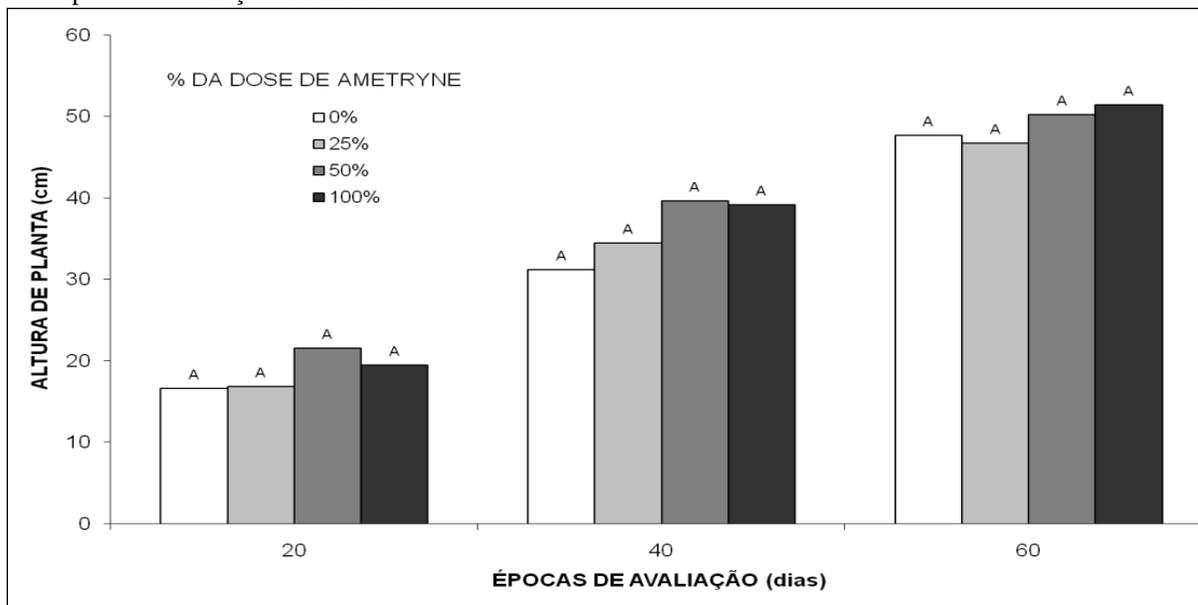
Tabela 7. Quadrado médio dos valores obtidos em ensaio avaliando a altura de plantas de milho em solo tratado com doses crescentes de ametryne. UNEMAT.

F.V.	ALTURA DE PLANTA		
	20 DIAS	40 DIAS	60 DIAS
DOSE	0,363580ns	0,571306ns	0,116787ns
Resíduo	0,161276	0,150344	0,282487
C.V.	9,34	6,47	7,61
DMS	0,73	0,70	0,96

* significativo a 5% de probabilidade.

ns: não significativo

Figura 6 - Altura de plantas de milho cultivado em solo tratado com doses crescentes do herbicida ametryne em diferentes épocas de avaliação. UNEMAT.



Apesar do aumento visual na altura de plantas entre as avaliações, as doses crescentes do herbicida não promoveram diferenças (Figura 6). Esses resultados divergem de Pires et al. (2003) que observaram diferença na altura de plantas, quando o solo foi tratado com doses diferentes de tebutiuron.

Dessa maneira, os resultados reforçam os observados na variável anterior e que divergem dos obtidos com a crotalária, indicando que a altura das plantas de milho não foi afetada pelas

doses crescentes de ametryne nas três épocas de avaliação. Isso pode sugerir que o milho é relativamente resistente ao ametryne ou que os efeitos na altura foram insignificantes neste estudo.

Conforme a Tabela 8, pode-se observar que não houve diferença significativa nos valores de massa seca da parte aérea nas avaliações aos 20 e 60 DAS, entretanto, aos 40 DAS, a diferença foi significativa entre as crescentes doses de ametryne.

Tabela 8. Quadrado médio dos valores obtidos em ensaio avaliando massa seca da parte aérea de plantas de milho em solo tratado com doses crescentes de ametryne.

F.V.	MASSA SECA AÉREA		
	20 DIAS	40 DIAS	60 DIAS
DOSE	0,010730ns	0,144155*	0,090506ns
Resíduo	0,009750	0,021834	0,054733

C.V.	32,81	21,32	22,07
DMS	0,18	0,27	0,42

* significativo a 5% de probabilidade.

ns: não significativo

Na Figura 7, pode-se observar quanto a massa seca da parte aérea não foi observada diferença na avaliação aos 20 DAS, entretanto na avaliação aos 40 DAS, o milho apresentou desenvolvimento superior aos demais tratamentos nas duas maiores doses. Essa alteração, cuja tendência já era observada na primeira avaliação, não se manteve na última avaliação.

Assim, verifica-se que houve diferença estatística na massa seca da parte aérea após 40 dias, podendo indicar que o ametryne teve um

impacto detectável no crescimento do milho apenas nesse momento específico do desenvolvimento. Possivelmente, a intoxicação das plantas pela presença de ametryne pode ter provocado alterações fisiológicas, observadas ao longo dos 40 primeiros dias, que culminou em acúmulo de massa seca.

Quanto a massa seca da raiz, observou-se na Tabela 9, que houve diferença significativa em todas as épocas avaliadas, entre as diferentes doses de ametryne.

Figura 7- Peso de massa seca da parte aérea de plantas de milho cultivada em solo contaminado com doses crescentes do herbicida ametryne em diferentes épocas de avaliação.

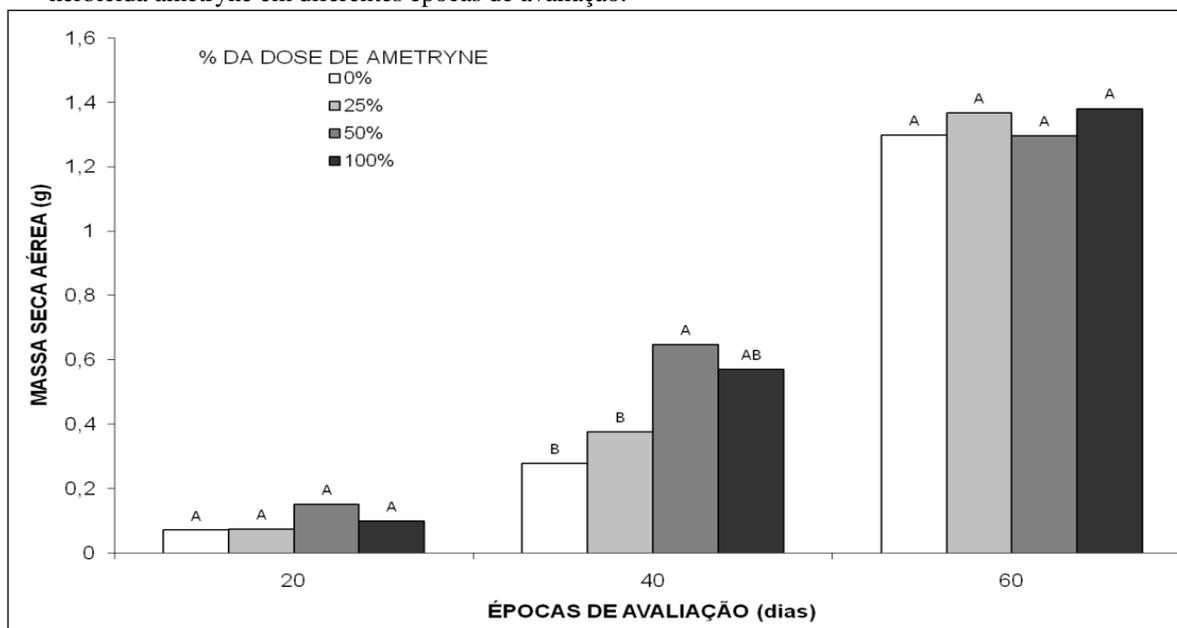


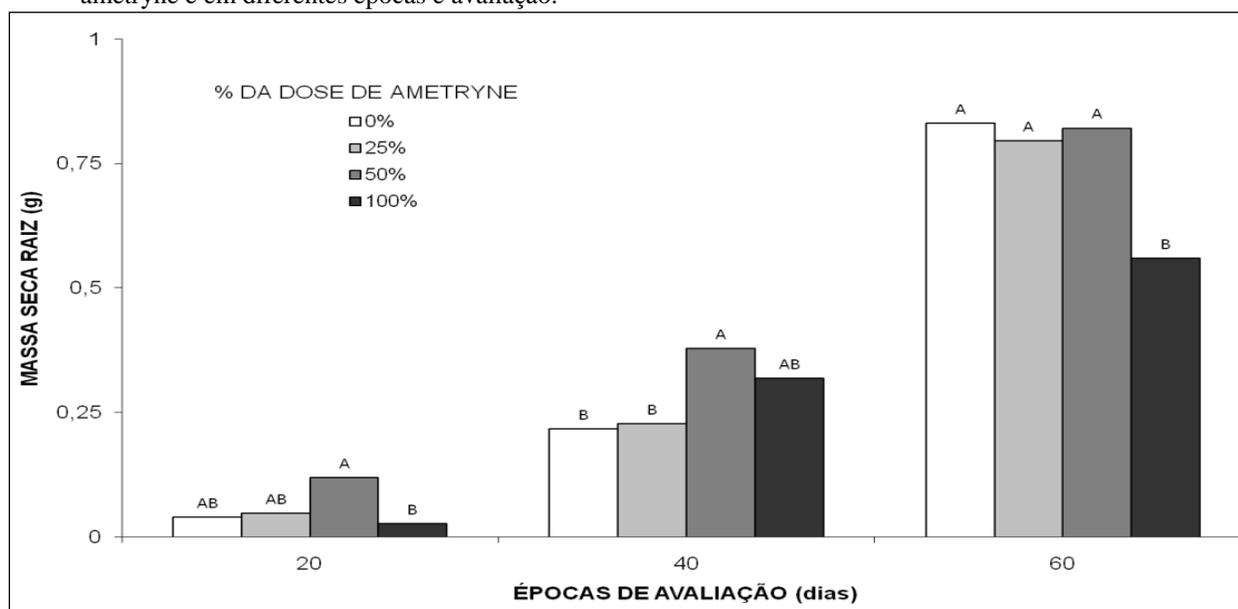
Tabela 9. Quadrado médio dos valores obtidos em ensaio avaliando massa seca da raiz de plantas de milho em solo tratado com doses crescentes de ametryne.

F.V.	MASSA SECA RAIZ		
	20 DIAS	40 DIAS	60 DIAS
MILHETO	0,023236*	0,138774*	0,156431*
Resíduo	0,009465	0,023793	0,074466
C.V.	44,43	27,03	28,85
DMS	0,18	0,28	0,49

* significativo a 5% de probabilidade.

ns: não significativo

Figura 8- Peso de massa seca da raiz de plantas de milho cultivada em solo contaminado com doses crescentes do herbicida ametryne e em diferentes épocas e avaliação.



Na Figura 8, é possível observar que nas três épocas de avaliação o milho apresentou diferença significativa, quando foi avaliado massa seca da raiz. No tratamento onde foi utilizado 100% da dose comercial de ametryne

recomendada para a cultura da cana-de-açúcar, em todas as avaliações, a massa seca da raiz obteve valores inferiores aos demais tratamentos. A presença do herbicida na maior dose promoveu redução significativa no volume e massa de raiz.

Esses resultados mostram que, apesar do milho mostrar-se tolerante à presença de ametryne, se a dose aplicada no solo for igual ou superior a 3,0kg i. a. ha⁻¹, essa espécie mostra-se sensível ao herbicida.

Em resumo, os resultados da tabela indicam que o ametryne afetou significativamente a massa seca das raízes das plantas de milho nas três épocas de avaliação. Isso sugere que o milho teve uma resposta sensível ao ametryne em relação ao desenvolvimento de suas raízes, sendo afetado significativamente em todas as épocas avaliadas.

4. CONCLUSÃO

Tanto a crotalária (*Crotalaria juncea*) quanto o milho (*Pennisetum typhoides*) parecem ser capazes de tolerar certas doses de ametryne sem que a emergência e a altura das plantas sejam afetadas de forma significativa.

A massa seca da parte aérea da crotalária não é afetada pelo ametryne, enquanto no milho, há diferença significativa após 40 dias.

Ambas as espécies de plantas, crotalária e milho, têm suas raízes afetadas pelo ametryne, sendo que a crotalária é mais afetada em algumas doses e épocas.

Os resultados sugerem que o milho pode ser mais sensível aos efeitos do ametryne na massa seca da parte aérea e raízes em comparação com a crotalária.

5. 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.

ALVES, C.; GALON, L.; KAIZER, R.R.; HOLS, C.M.; WINTER, F.L.; BASSO, F.J.M.; PERIN G.F.; FORTE, C.T. Selection of species with soil phytoremediation potential after the application of protox-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, v36, e018174765, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100074>

ANDERSON, T. A.; COATS, J. R. Screening rhizosphere soil samples for the ability to mineralize elevated concentrations of atrazine and metolachlor. **Journal Environmental Science Health**, v. 30, p. 473-484, 1995.

BALDISSARELLI, D.P.; VARGAS, G.D.L.P.; KORF, E.P.; GALON, L.; KAUFMANN, C.; SANTOS, J.B. Remediation of soils contaminated by pesticides using physicochemical processes: A Brief Review. **Planta Daninha**, v.37, p.1-12, 2019.

CHEN, Z.; HUANG, L.; SONG, S.; ZHANG, Y.; LI, Y.; TAN, H.; LI, X. Enhanced disappearance of mesotrione and fomesafen by water hyacinth in water. **International Journal of Phytoremediation**, v. 21, p.583-589, 2019.

COBUCCI, T.; PORTELA, C. Seletividade de herbicidas aplicados em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do arroz de terras altas. **Planta Daninha**, v. 19, p. 359-366, 2001.

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

CYCON, M.; MROZIK, A.; PIOTROWSKA-SEGET, Z. Bioaugmentation as a strategy for the remediation of pesticide-polluted soil: A review. **Chemosphere**, v.172, p.52–71, 2017.

HUANG, Y.; XIAO, L.; LI, F.; XIAO, D.; LIN, D.; LONG, X.; WU, Z. Microbial degradation of pesticide residues and an emphasis on the degradation of Cypermethrin and 3-phenoxy benzoic acid: A review. **Molecules**, v.23, p.13-23, 2018.

LIU, L.; BILAL, M.; DUAN, X.; IQBAL, H.M.N. Mitigation of Environ. Pollut. by genetically engineered bacteria: Current challenges and future prospects. **Science of Total Environment**, v.667, p.444–454, 2019.

LUO, X.; ZHANG, D.; ZHOU, X.; DU, J.; ZHANG, S.; LIU, Y. Cloning and characterization of a pyrethroid pesticide decomposing esterase gene, Est3385, from *Rhodopseudomonas palustris* PSB-S. **Science Report**, v.8, p.73-84, 2018.

MACEK, T.; MACKOVÁ, M.; KÁS, J. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. **Biotechnology Advances**, v. 18, p. 23-34, 2000.

MORELAND, D.E.; HILTON, J.L. Actions on photosynthetic systems. In: AUDUS, L. J. **Herbicides physiology, biochemistry, ecology**. London: Academic Press, p.493-523, 1976.

NARAYANAN, M.; RUSSELL N.K.; DAVIS L.C. Experimental and modeling studies of the fate of trichlorethylene in a chamber with alfafa plants. Disponível em <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/home.html>. Acesso em 11 de outubro de 2008.

OLIVEIRA, R. S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, p. 187-206, 2001.

PERKOVICH, B.S.; ANDERSON, T.A.; KRUGER, E.L. & COATS, J. R. Enhanced mineralization of [14C] atrazine in *K. scoparia* rhizosferic soil from a pesticide contaminated site. **Pesticide Science**, v. 46, p. 391-396, 1996.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; OLIVEIRA, J. A.; SILVA, A. A. . Uso da fitorremediação na descontaminação do solo. In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS, 23., 2001, Viçosa, MG. **Resumos...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 104, 2001.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O. e FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, p. 335-341, 2003.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; PIRES, F. R.; RIBERIRO JÚNIOR, J. I.; SANTOS, E. A.; FERREIRA, L. R. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v. 22, p. 315-322. 2004.

ROBERTS, T. R.; HUTSON, D. H. **Metabolic pathways of agrochemicals.**: Herbicides and plant growth regulators. London: The Royal Society of Chemistry. 1998. 849 p,

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. de. **Guia de herbicidas**. 3.ed. Londrina. 675p. 1995.

ROMANO-ARMADA, N.; AMOROSO, M.J.; RAJAL, V.B. Construction of a combined soil quality indicator to assess the effect of glyphosate application. **Science of Total Environment**, v.684, p.314–325, 2019.

SALT, D. E.; SMITH, R. D.; RASKIN, I. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 49, p. 643-668, 1998.

SANTOS, E.; PIRES, F.R.; FERREIRA, A.D.; EGREJA FILHO, F.B.; MADALÃO, J.C.; BONOMO, R.; ROCHA JUNIOR, P.R.D. Phytoremediation and natural attenuation of sulfentrazone; mineralogy influence of three highly weathered soils. **International Journal of Phytoremediation**, v.21, p.652–662, 2019.

SANTOS, N.M.C.; CSTA, V.A.M.; ARAUJO, F.V.; ALENCAR, B.T.B.; RIBEIRO, V.H.V.; OKUMURA, F.; SIMEONE, M.L.F.; SANTOS, J.B. Phytoremediation of Brazilian tree species in soils contaminated by herbicides. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p.27561–27568, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2798-0>

SCRAMIN, S.; SKORUPA, L. A.; MELO, I. S. Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas – levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. In: MELO, I. S. **Biodegradação**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente. p. 369-371, 2001.

SILVA, V.; MOL, H.G.J.; ZOMER, P.; TIENSTRA, M.; RITSEMA, C.J.; GEISSEN, V. Pesticide residues in European agricultural soils: A hidden reality unfolded. **Science of Total Environment**, v.653, p.1532–1545, 2019.

SIQUEIRA, J. O.; SAFIR, G. R.; NAIR, M. G. VA-mycorrhizae and mycorrhizal stimulating isoflavonoid compounds reduce plant herbicidae injury. **Plant Soil**, v. 34, p. 233-242, 1991.

TANABE, A.; MITOBE H.; KAWATA K.; YASUHARA A. . Seasonal and special studies on pesticides residues in surface waters of the Shinano river in Japan. **Journal of Agricultural and Food Chemical**. v. 49, p. 3847-3852, 2001.

TARLA, D.N.; ERICKSON, L.E.; Hettiarachchi, G.M.; AMADI, S.I.; Galkaduwa, M.; DAVIS, L.C.; Nurzhanova, A.; Pidlisnyuk, V. Phytoremediation and bioremediation of pesticide-contaminated soil – Review. **Applied Sciences**, v.10, p.1-25, 2020. doi:10.3390/app10041217

THIOUR-MAUPRIVEZ, C.; MARTIN-LAURENT, F.; CALVAYRAC, C.; BARTHELMEBS, L. Effects of herbicide on non-target microorganisms: Towards a new class of biomarkers? **Science of Total Environment**, v.684, p.314–325, 2019.

VIDAL, R. A. Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas. Campinas: **Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas aos Herbicidas**, p.165, 1997.

VOSE, J. M.; SWANK, W.T.; HARVEY, G.J.; CLINTON, B.D.; SOBEK, C. Leaf water relations and sapflow in Eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) trees planted for phytoremediation of a groundwater pollutant. **International Journal Phytoremediation**, v. 2, p. 53-73, 2000.

ZIMDAHL, R.L. **Fundamentals of Weed Science**. San Diego: Academic Press, Inc, 1993. 450 p.