

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM PROTEÇÃO DE PLANTAS

ANTÔNIO JOSÉ PLÁCIDO DE MELLO

**Uso de adubos verdes para fitorremediação de solos contaminados com
Amicarbazone.**

RIO LARGO - AL
2018

ANTÔNIO JOSÉ PLÁCIDO DE MELLO

**Uso de adubos verdes para fitorremediação de solos contaminados com
Amicarbazone.**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Proteção de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Renan Cantalice de Souza

RIO LARGO -AL

2018

Catlogação na fonte

Universidade Federal de Alagoas

Biblioteca Central

Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

M527u Mello, Antonio José Plácido de.
Uso de adubos verdes para fitorremediação de solos contaminados com amicarbazone / Antonio José Plácido de Mello. – 2018.

103 f. : il.

Orientador: Renan Cantalice de Souza.
Tese (doutorado em Proteção de Plantas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas. Rio Largo, 2018.

Inclui bibliografia.
Apêndice: f. 100-103.

1. Fitorremediação. 2. Solos – Descontaminação. 3. Adubação verde.
4. Herbicidas. I. Título.

CDU: 631.871

ANTÔNIO JOSÉ PLÁCIDO DE MELLO

Uso de adubos verdes para fitorremediação de solos contaminados com Amicarbazone.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Proteção de Plantas.



Orientador: Prof. Dr. Renan Cantalice de Souza - UFAL

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr Antonio Euzébio Goulart Santana - UFAL



Prof. Dr Herinque Fonseca Goulart - UFAL



Dr João Gomes da Costa – EMBRAPA

RIO LARGO -AL

2018

*“Não haverá borboletas se a vida não
passar por longas e silenciosas metamorfoses”*

“Rubens Alves”

Aos meus pais Enéas Fernandes de Mello e Maria José Plácido de Mello pelo apoio, incentivo, dedicação e amor em minha vida...

A minha irmã Rita de Cássia Plácido de Mello e o seu esposo José Soares Silva Junior pelo companheirismo... In memoriam

A minha companheira, Giselda, pelo incentivo, por entender, aceitar e ajudar nas minhas decisões, por participar de cada minuto da minha vida e por me amar...

A meu filho Antônio José Plácido de Mello Júnior pela dedicação do dia-a-dia...

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL) pela oportunidade da realização do curso de pós-graduação.

Ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL) pela minha liberação na realização do curso.

Aos colegas Professores, Funcionários e Alunos do IFAL pela apoio dispensados nos momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Renan Cantalice de Souza pela orientação, confiança, dedicação, ensinamento e amizade.

Aos Coordenadores, Professores e Funcionários do Curso de Pós-graduação da UFAL.

Aos colegas Discentes do programa de pós-graduação.

A todos que de alguma forma acrescentaram para minha formação.

...Meus sinceros agradecimentos por tudo...

RESUMO GERAL

O objetivo foi avaliar o comportamento de diferentes espécies vegetais na fitorremediação de solo contaminado por amicarbazone em planta bioindicadora feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação do CECA – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em Rio Largo – Alagoas. O primeiro experimento foi instalado no período de janeiro de 2016 a julho 2016, utilizando-se vasos de 10 dm³ de solo. Os tratamentos foram compostos de 09 espécies de plantas: Mucuna preta cv mucuna preta (*Mucuna pruriens*); Crotalaria breviflora cv comum (*Crotalaria breviflora* DC); Calopogonio sp cv comum (*Calopogonium mucunoides* Desv); Lab Lab cv songai (*Dolichos lablab* L); Feijão guandu cv fava larga (*Cajanus cajan* (L) Millsp); Nabo forrageiro cv sl 1000cv (*Raphanus sativus* L); Crotalaria spectabilis (*Crotalaria spectabilis* Roth); Fedegoso (*Cassia occidentalis* L.); Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de wit) e um tratamento sem cultivo (controle) e quatro doses do amicarbazone (0; 0,5; 1,0 ; 1,5 kg.ha⁻¹), respectivamente (0; 350; 700; 1050 g.i.a. ha⁻¹). O Delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 10 X 04 com quatro repetições. O segundo experimento foi instalado no período de setembro de 2016 a junho 2017, utilizando-se vasos 10 dm³ de solo, Os tratamentos foram compostos de 03 espécies de plantas: Mucuna preta cv mucuna preta (*Mucuna pruriens*); Crotalaria spectabilis (*Crotalaria spectabilis* Roth); Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de wit) e um tratamento sem o cultivo (controle) e quatro doses do amicarbazone (0; 0,5; 1,0 ; 1,5 kg.ha⁻¹), respectivamente (0; 350; 700; 1050 g.i.a. ha⁻¹). O Delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 04 X 04 com quatro repetições. Aos 30 e 60 dias foram observados nas folhas de feijão cultivados em sucessão as espécies: notas de Sintomas de Fitotoxicidade das folhas, teor de Clorofila total em laboratório, taxa de Transferência de elétrons (ETR), Índice SPAD, Índice Clorofila Falker (ICF), Matéria seca e Determinação da Concentração de Herbicida no solo (no segundo experimento). Foi realizada Análise Multivariada de dados. Os resultados dos ensaios permitiram concluir apresentou correlações simples nas variáveis observadas e nas correlações matricionais. Com as espécies apresentam potencial efeito fitorremediador, principalmente a Mucuna preta, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, Nabo forrageiro. Alta similaridade entre Índice SPAD e Índice Clorofila Falker e Concentração de Herbicida no solo, Fitotoxicidade, Taxa de transferência de elétrons e Matéria seca. Alta correlações matricionais e simples entre as variáveis, principalmente, no primeiro ensaio.

Palavra-chave: Biodisponibilidade, Comportamento, Herbicida.

GENERAL ABSTRACT

The objective was to evaluate the behavior of different plant species in phytoremediation of soil contaminated with amicarbazone in a bean bioindicator plant (*Phaseolus vulgaris* L.). Two experiments were carried out in vegetation house of the CECA –Agricultural Sciences Center the Federal University of Alagoas (UFAL), in Rio Largo - Alagoas, The first experiment was installed from January 2016 to July 2016, using pots of 10 dm³ of soil. The treatments were composed of 09 species of plants: Black Mucuna cv mucuna black (*Mucuna pruriens*); *Crotalaria breviflora* cv common (*Crotalaria breviflora* DC); *Calopogonium sp* cv common (*Calopogonium mucunoides* Desv); Lab Lab cv songai (*Dolichos lablab* L); Beans guandu cv fava largo (*Cajanus cajan* (L) Millsp); Turnip forage cv sl 1000cv (*Raphanus sativus* L); *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis* Roth); (*Leucaena leucocephala* (Lam) de wit) and a treatment without culture (control) and four doses of amicarbazone (0; 0.5; 1.0; 1.5 kg.ha⁻¹), respectively (0; 350; 700; 1050 g.a.i.ha⁻¹). The experimental design was a randomized complete block design in a 10 X 04 factorial scheme with four replications. The second experiment was installed in the period from September 2016 to June 2017, using pots 10 dm³ of soil. The treatments were composed of 03 plant species: Mucuna black cv mucuna preta (*Mucuna pruriens*); *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis* Roth); *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* (Lam) de wit) and a treatment without culture (control) and four doses of amicarbazone (0; 0.5; 1.0; 1.5 kg.ha⁻¹), respectively (0; 350 ; 700; 1050 g.a.i ha⁻¹). The experimental design used was a randomized complete block design in a 4 X 04 factorial scheme with four replications. On the 30th and 60th days, the following species were observed in the leaves of bean cultivated in succession: notes of Leaf Phytotoxicity Symptoms, Total Chlorophyll content in laboratory, Electron Transfer Rate (ETR), SPAD Index, Falker Chlorophyll Index (ICF) , Dry Matter and Determination of Herbicide Concentration in soil (in the second experiment). Multivariate data analysis was performed. The results of the tests allowed to conclude presented simple correlations in the observed variables and in the matritional correlations. With the species they present potential phytoremediation effect, mainly the black Mucuna, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, forage turnip. High similarity between SPAD Index and Falker Chlorophyll Index and Herbicide Concentration in soil, Phytotoxicity, Electron Transfer Rate and Dry Matter. High matritional and simple correlations between variables, mainly in the first trial.

Keywords: Bioavailability, Behavior, Herbicide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01.	A formula estrutural do Amicarbazone.	27
Figura 02.	Disposição dos ensaios em casa de vegetação, na sequência após o plantio das espécies fitorremediadoras e após o plantio sucessório do feijão. Rio Largo – Al, 2017.	40
Figura 03.	Equipamentos para medição dos ensaios, na sequência Spad 502, ClorofiLog, Espectrofotômetro modelo Genesys e o Fluorímetro. Rio Largo – Al, 2017.	42
Figura 04.	Estimativas dos Teores de Clorofila Total (CT) ($\text{mg g}^{-1}\text{MF}$) nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	47
Figura 05.	Estimativas da Taxa de Transporte de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no fotossistema II nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	50
Figura 06.	Estimativas do Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à espécies nove fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone . Rio Largo – Al, 2017.	53
Figura 07.	Estimativas média do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	56
Figura 08.	Estimativas média das Notas de Fitotoxicidade nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	59
Figura 09.	Estimativas média da Matéria seca (g.planta^{-1}) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	61
Figura 10	Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.	64
Figura 11	Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.	66
Figura 12	Equipamento de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) e os vials.	76
Figura 13.	Cromatograma obtido na determinação do amicarbazone.	76
Figura 14.	Estimativas dos Teores de Clorofila Total (CT) ($\text{mg.g}^{-1}\text{MF}$) nas plantas de feijão cultivado aos 30 e 60 dias em sucessão à três	

- espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone . Rio Largo – Al, 2017. 81
- Figura 15. Estimativas da Taxa de Transporte de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no fotossistema II nas plantas de feijão semeados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017. 82
- Figura 16. Estimativas do Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone . Rio Largo – Al, 2017. 85
- Figura 17. Estimativas do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017. 87
- Figura 18. Estimativas média das Notas de Fitotoxicidade nas plantas de feijão cultivado aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017 88
- Figura 19. Estimativas da concentração média do herbicida no solo (μgL^{-1}) com plantas de feijão cultivado aos 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017. 89
- Figura 20. Estimativas da Matéria seca (g.planta^{-1}) em plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017. 91
- Figura 21. Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017. 94
- Figura 22. Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017. 96

LISTAS DE TABELAS

Tabela 01.	Quadrado médio das variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados após 30 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	43
Tabela 02.	Quadrado médio das variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados após 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	44
Tabela 03.	Teores de Clorofila Total (mg g ⁻¹ MF) em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	45
Tabela 04.	Teores de Clorofila Total (mg g ⁻¹ MF) em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	46
Tabela 05.	Taxa de Transferência de elétrons (ETR) μmols elétrons m ⁻² s ⁻¹ em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	48
Tabela 06.	Taxa de Transferência de elétrons (ETR) μmols elétrons m ⁻² s ⁻¹ em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	49
Tabela 07.	Índice SPAD em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	51
Tabela 08.	Índice SPAD em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	52
Tabela 09.	Índice Clorofila Falker (ICF) em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	54
Tabela 10.	Índice Clorofila Falker (ICF) em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017	55
Tabela 11.	Fitotoxicidade em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	57
Tabela 12.	Fitotoxicidade em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	58

Tabela 13.	Matéria seca (g.planta ⁻¹) em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	60
Tabela 14.	Correlações simples entre variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	62
Tabela 15.	Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.	63
Tabela 16.	Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.	65
Tabela 17.	Quadrado médio das variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados após 30 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	78
Tabela 18.	Quadrado médio das variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados após 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	79
Tabela 19.	Efeito da doses nos teores de Clorofila Total (mg.g ⁻¹ MF) nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses de crescentes amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	80
Tabela 20.	Efeito da doses nos teores de Clorofila Total (mg.g ⁻¹ MF) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses de crescentes amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	80
Tabela 21.	Média da Taxa de Transporte de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no fotossistema II nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone . Rio Largo – Al, 2017.	82
Tabela 22.	Efeito do Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	83
Tabela 23.	Efeito do Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	84
Tabela 24.	Efeito do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	86

Tabela 25.	Efeito do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	86
Tabela 26.	Média das Notas de Fitotoxicidade nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	88
Tabela 27.	Média da concentração do herbicida no solo com plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	89
Tabela 28.	Matéria seca (g.planta ⁻¹) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	90
Tabela 29.	Correlações simples entre variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.	92
Tabela 30	Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.	93
Tabela 31	Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMZ – Amicarbazone.
ATP – Adenosina Trifosfato.
CAS - Registro único no bancos de dados da Chemical Abstract Service.
CECA – Centro de Ciências Agrárias.
CO₂ – Gás carbônico.
CT – Clorofila Total.
CTC – Capacidade de Troca Catiônica.
DAS – Dias Após Semeadura.
ETR – Taxa de Transferência de Elétrons.
ERWC- European Weed Research Council.
HPLC/CLAE – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência.
IDA – Ingestão Diária Aceitável.
ICF – Índice de Clorofila de Falker.
Koc- Constante de sorção normalizado para teor de Carbono Orgânico.
Kow- Coeficiente partição octanol/água.
LMR – Limite Máximo de Resíduos.
MS – Matéria Seca
NADPH₂ – Nucleotídeo reduzido de piridina.
pH – potencial Hidrogeniônico.
SPAD – Soil Plant Analytical Division Value.
UFAL – Universidade Federal de Alagoas.
UV – Luz ultravioleta.
WG – Grânulos Dispersíveis em água.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Conceitos básicos e mecanismos	18
2.2 As principais vantagens e desvantagens da fitorremediação	19
2.3 Fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas estudados no Brasil	20
2.4 Estratégias para o sucesso da fitorremediação	22
2.5 As limitações para o emprego da técnica	22
2.6 Escolha da espécie vegetal remediadora	23
2.7 Adubos Verdes	24
2.8 Amicarbazone, características e o seu mecanismos de ação	27
3.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
4.SELEÇÃO DE ESPÉCIES PARA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM AMICARBAZONE.	37
RESUMO	37
ABSTRACT	37
4.1 Introdução	38
4.2 Material e Métodos	39
4.3 Resultados e Discussão	42
4.4 Conclusão	67
4.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	68
5. DESENVOLVIMENTO DE FEIJOEIRO APÓS FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM AMICARBAZONE.	71
RESUMO	71
ABSTRACT	71
5.1 Introdução	72
5.2 Material e Métodos	73
5.3 Resultados e Discussão	77
5.4 Conclusão	97
5.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	98
6. APÊNDICES	101

1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento da população mundial e a mudança dos hábitos alimentares prometem manter a procura por grãos e carnes em alta nos próximos anos. Como agravante, em 2050, espera-se que a população mundial passe dos atuais 7,4 bilhões aproximadamente, para 9,7 bilhões (GRANDE & CREN, 2016) repercutindo diretamente no consumo de alimentos, com estimativa de aumento na demanda de 84 %, entre 2000 a 2050, que exigirá um crescimento na produção de alimentos em 86 % (KRAUSE, 2010). Nas últimas décadas, graças ao desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias voltadas ao campo, assim como abertura de novos espaços agrícolas ampliando a área cultivada e incrementando a produtividade agrícola tem contribuído para o aumento na produção agrícola (BARBOSA FILHO, 2017). O aumento desta demanda, de forma geral, tem levado ao aumento do consumo de água e agrotóxicos na agricultura, uma vez que o ambiente agrícola pode apresentar uma série de organismos que reduzem a produção e o valor das culturas (SILVA et al., 2004). A aplicação de agrotóxicos pode contaminar o solo e os sistemas hídricos, culminando numa degradação ambiental que teria como consequência em prejuízos à saúde humana e alterações significativas nos ecossistemas (FRIGGI, 2014).

A ênfase dada aos herbicidas resulta no fato de que o mercado de agrotóxicos no Brasil cresceu mais de 195% entre 2006 e 2012 passando de 480 mil para 940 mil toneladas (SINDIVEG, 2016). Considerando a área utilizada para agricultura, a aplicação média de herbicida no Brasil é de 6,9 kg ha⁻¹ ano (Santos et al., 2013). Santos (2016), relata que entre os principais problemas do controle químico de plantas daninhas de ordem econômica é a resistência das plantas aos herbicidas, ordem ambiental é o residual dos herbicidas no solo. A possibilidade do controle efetivo de plantas daninhas por um período de tempo maior, reduzindo com isso o número de aplicações, justifica a utilização de herbicidas que apresentam longo efeito residual no solo. Estes produtos podem causar toxicidade em culturas sensíveis cultivadas em sucessão àquela em que foi aplicado o herbicida pelo efeito residual, o carryover, durante o ciclo da cultura ou pulverizados em culturas antecessoras comprometendo a produtividade (MANCUSO, et al., 2011). O impacto ambiental negativo ocasionado pela lixiviação, transporte no solo dessas moléculas e/ou de seus metabólitos para camadas mais profundas no perfil do solo,

podendo atingir águas superficiais, subterrâneas e lençóis freáticos e se mover para outros ambientes com provável contaminação de outros ecossistemas.

Segundo Souza (2009), os efeitos do uso indiscriminado de agrotóxicos também é percebido em relatórios de monitoramentos de aquíferos no Brasil. Segundo Gomes & Barizon (2014), verifica-se que os resíduos de agrotóxicos e de nitratos são frequentemente detectados nos escassos monitoramentos realizados nas diferentes regiões do Brasil. Ao se tratar de resíduos químicos no ambiente deve-se pensar na saúde dos diversos organismos que inter-relaciona no meio em que vive, entre eles o homem. Compreender a necessidade de estabelecer padrões aceitáveis (concentrações) no ambiente para moléculas de compostos químicos que causam impacto negativo, além de reavaliar os padrões vigentes.

No sistema produtivo atual, a sustentabilidade da produção agrícola e a sua adequação ambiental são imprescindíveis. Dentre as práticas sustentável está a utilização de plantas para descontaminação de áreas contaminadas por poluentes químicos. Cabral & Santos (2016), relatam que a técnica da fitorremediação versa na capacidade que algumas espécies vegetais possuem em retirar compostos tóxicos do ambiente promovendo sua descontaminação podendo contar com auxílio de sua microbiota associada e amenizantes (corretivos, fertilizantes e matéria orgânica). O processo promove a descontaminação do solo pela extração, degradação do contaminante, habilidade/resistência que certas plantas possuem em absorver ou simplesmente neutralizar a ação de determinados compostos tóxicos ao solo e/ou água, prestando-se a verdadeiros filtros verdes. A Fitorremediação tem-se mostrado técnica biotecnológica promissora na redução da persistência no ambiente de diversos herbicidas de longo efeito residual no solo (PIRES et al., 2003; FURTADO, 2005; PROCOPIO, 2007). Santos & Novak (2013), relatam que no Brasil os trabalhos sobre fitorremediação tem se concentrado em solos contaminados por metais (LOPES & LIMA, 2015) e herbicidas (MARQUES et al., 2011), embora existam também trabalhos tratando de fitorremediação para hidrocarbonetos de petróleo (BIAZÃO, 2012) para solos salinos (SOUZA et al., 2012) e com enfoque em plantas nativas do Cerrado (LOPES, 2010).

Em função do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar e selecionar espécies fitorremediadoras ao amicarbazone aplicado ao solo em sucessão ao feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Conceitos básicos e mecanismos

A fitorremediação consiste em uma investigação sistemática, científica, de como podem ser usadas as plantas para descontaminar o solo e água. Entre outros, relatos que na Alemanha, há mais de 300 anos, plantas já eram utilizadas no tratamento de esgotos (CUNNINGHAM et al., 1996). Todavia, o uso do termo phytoremediation (phyto = vegetal + remediation = remediação) é muito mais recente, tendo sido estabelecido em 1991 para definir o uso de vegetais e dos microrganismos a eles associados, como instrumento para contenção, isolamento, remoção ou redução das concentrações de contaminantes em meio sólido, líquido ou gasoso (US EPA, 2005).

Significativo tem sido os avanços nas pesquisas que utilizam plantas e microrganismos a elas associados para despoluição de ecossistemas. É corroborado pelo número de instituições, pesquisadores, teses e referências em geral sobre a fitorremediação em português, encontrados em sites de busca na internet (PROCOPIO et al., 2009).

Como qualquer outro processo de remediação, o uso de plantas destina-se à redução dos teores de contaminantes a níveis seguros e compatíveis com proteção à saúde humana, ou a impedir/dificultar a disseminação de substâncias nocivas ao ambiente. Mas, diferentemente de algumas outras tecnologias consideradas convencionais, a fitorremediação apresenta grande versatilidade, podendo ser utilizada para remediação de meio aquoso, ar, solo, com variantes que dependem dos objetivos a serem atingidos. Mostra-se como avanço da biotecnologia para o tratamento do solo e água que sofre agressões antropogênicas, surgindo uma gama de métodos (SILVA et al., 2016).

A taxonomia da fitorremediação depende da técnica a ser empregada, natureza química e das propriedades dos poluentes. De acordo com Andrade et al., (2007); Marques et al., (2011); Meija et al., (2014), as técnicas que envolvem os mecanismos da fitorremediação são:

- a) Fitoextração: após a absorção do poluente contido no meio, ocorre o armazenamento no tecido vegetal, o que facilita o descarte do material. Acumulação de metais ou orgânicos nas folhas, caules e raízes;
- b) Fitotranspiração ou Fitodegradação: o poluente sofre bioconversão no interior das plantas ou em sua superfície, passando a formas menos tóxicas (catabolismo ou anabolismo) por ação enzimática;
- c) Fitovolatilização: o poluente é absorvido e convertido em forma volátil que é liberada na atmosfera através das folhas;
- d) Fitoestimulação: a presença das plantas estimula a biodegradação microbiana mediante exsudatos radiculares e/ou fornecimento de tecidos vegetais;
- e) Fitoestabilização: o poluente é imobilizado por meio de sua lignificação ou humificação, ocorre nas raízes ou solo.

Procópio et al., (2009), relatam que a fitorremediação pode ser dividida em oito processos, os quais ocorrem em função das características morfofisiológicas de cada espécie vegetal. Esses processos não são exclusivos e podem ocorrer simultaneamente ou sequencialmente.

O mecanismo responsável pela remediação do herbicida amicarbazone no solo, ainda não está bem elucidado. No entanto, no Brasil, é grande o potencial de uso da fitorremediação de solos contaminados por herbicidas, por tratar-se de um país de clima tropical. A sua biodiversidade é favorável ao uso da tecnologia, uma vez que o conhecimento a cerca da fitorremediação limita-se quase que exclusivamente a países de clima temperado. Estudos detalhados nas condições de clima, solos e biodiversidade existente, focando no estabelecimento, crescimento e metabolismo de espécies vegetais e microorganismos associados em resposta à contaminação (AGUIAR, 2007) favorecendo os processos biológicos no tratamento dos contaminantes (MARQUES et al., 2012).

2.2 As principais vantagens e desvantagens da fitorremediação

As investigações nessa área de conhecimento procuram compreender a interação da planta com os contaminantes. O elevado potencial de utilização, tendo em vista Cunningham et al. (1995); Pletsch et al. (2000); Melo et al (2012) citam como as vantagens da fitorremediação: a) o investimento em capital e o custo de operação para realização são baixos; b) é aplicável “*in situ*” e o solo pode ser posteriormente reutilizado; c) aplica-se a grande variedade de poluentes, incluindo alguns recalcitrantes; d) é uma

técnica esteticamente bem-aceita pela sociedade e pode ser adotada com mínimo distúrbio ambiental, evitando escavações e tráfego veículos pesado; f) as planta podem ser facilmente monitoradas do que, por exemplo, os microrganismos; g) aplica-se em área extensas onde outras tecnologias são proibitivas; h) em alguns casos, representa uma solução permanente, pois poluentes como os orgânicos podem ser mineralizados; i) o material vegetal produzido pode ser convertido em matéria-prima destinada a atividades como confecção de móveis, geração de energia e produção de fibras.

Cunningham et al. (1995); Pletsch et al. (2000); Melo et al. (2012), também, citam como as desvantagens da fitorremediação: a) os resultados são mais lentos do que aqueles observados com outras tecnologias podendo levar semanas, meses e até anos; b) o crescimento de algumas plantas é dependente da estação, do clima e do solo, envolvendo o adequado fornecimento de água e nutrientes, além de textura do solo, pH e salinidade; c) a concentração das substâncias contaminantes podem ser tóxica, impedindo o estabelecimento /desenvolvimento dos vegetais e, conseqüentemente, o uso da tecnologia; d) aplica-se apenas à superfície do solo ou a águas existentes em pouca profundidade; e) existe necessidade de disposição da biomassa vegetal, quando ocorre a fitoextração de poluentes não metabolizáveis ou metabolizados a compostos também tóxicos; f) é incapaz de reduzir 100% a concentração do poluente; g) em alguns casos, podem ser produzidos metabólitos mais tóxicos do que os compostos originais. É também possível haver imobilização apenas temporária dos poluentes; h) caso não sejam tomadas os devidos cuidados, pode favorecer o transporte do poluente ou a inserção e o bioacúmulo na cadeia trófica, aumentando os riscos relativos à contaminação e indução de efeitos deletérios em seres vivos.

2.3 Fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas estudados no Brasil

Herbicidas que apresentam atividades residual no solo, impedindo ou reduzindo a emergência de plantas daninhas, são importantes insumos para garantia da produtividade das culturas comerciais (PROCOPIO et al., 2008). Dentro da biorremediação, a técnica conhecida como fitorremediação vem sendo difundida como alternativa de grande interesse, por apresentar possibilidade de remediação in situ de contaminantes inorgânicos e orgânicos no solo e na água (SURSALA et al., 2002; LIMA et al., 2012), ser baixo custo (NEWMAN et al., 1998) e, ainda, porque as plantas despoluidoras, não raro, resultam em benefícios adicionais além da própria remediação.

Recentes pesquisas têm difundido a utilização de plantas na remediação de herbicidas, algumas apontam a eficiência de plantas na remediação de herbicidas como tebuthiuron, trifloxysulfuron sodium, sulfentrazone e picloran no Brasil e as moléculas atrazine, simazine e metolachlor em condições de clima temperado (MADALÃO et al., 2012). De acordo com Scramin et al. (2001), plantas invasoras com potencial para investigação/seleção para fitorremediação são: grama-seda (*Cynodon dactylon* (L.), tiririca (*Cyperus rotundus* (L.), capim-colchão (*Digitaria horizontalis* Wills), trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.), braquiariinha (*Brachiaria decumbens* L. Stapf), amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla* L.), erva-de-santa-luzia (*Euphorbia hirta* L.) e burra leiteira (*Euphorbia hyssopifolia* L.).

Para Madalão et al., (2012) as espécies identificadas como tolerantes, e com potencial para utilização em programas de fitorremediação de solos contaminados com o tebuthiuron, foram *Canavalia ensiformis* e *Lupinus albus* (PIRES et al., 2006); ao herbicida trifloxysulfuron sodium, as espécies *Mucuna aterrima* e *Canavalia ensiformis* (SANTOS et al., 2004); e *Eleusine coracana* remediou solos contaminados com o herbicida picloram (PROCÓPIO et al., 2008), atrazina (ARTHUR et al., 2000), simazina (WILSON et al., 2001), sulfentrazone (BELO et al., 2011) e matolaclor (ANDERSON & COAT, 1995).

A capacidade de metabolização do agrotóxico a um composto não-tóxico (ou menos tóxico) à planta e ao ambiente é o princípio da fitodegradação. Outra possibilidade é a fitoestimulação, na qual há o estímulo à atividade microbiana, promovido pela liberação de exsudatos radiculares, que atua degradando o composto no solo, o que caracteriza, em algumas plantas, a aptidão rizosférica para a biorremediação de compostos tóxicos (PIRES et al., 2003).

A disponibilidade de um pesticida a degradação biológica é variável devido à diferenças na estrutura molecular e nas propriedades físicas e químicas. Altas concentrações de pesticidas podem ser inibitórias para comunidade microbiana. Por outro lado, a adsorção por partículas do solo diminui a concentração efetiva do pesticida, podendo assim manter a concentração disponível abaixo do limiar de indução enzimática. A sorção pode tornar estes compostos inviáveis para degradação microbiológica ou pelo menos diminuir a taxa de degradação. Os pesticidas podem, ainda, ficar fisicamente protegidos da invasão e colonização microbiana. Como a biodegradação ativa da molécula de um pesticida é um evento intracelular a entrada na célula é uma condição

necessária para sua degradação e depende das características individuais de cada pesticidas (BAIRD, 2011). O processo de biorremediação de herbicidas no solo é mediado por micro-organismos, dentre os quais as bactérias, podendo variar de apenas dias até anos para que ocorra o completo desaparecimento da molécula (GAYLARD, BELLINASSO e MANFIO, 2005). A ocorrência de biodegradação tem sido relatada para vasta gama de pesticidas. Cullington & Walker (1999), isolaram uma cepa bacteriana de um solo que tenha desenvolvido a capacidade de degradar rapidamente o herbicida diuron, o qual é relativamente persistente. Em meio mínimo esta linhagem foi também capaz de degradar os herbicidas isoproturon, clortoluron, linuron e monolinuron (CULLINGTON & WALKER,1999). Araújo & Orlanda (2014), obteve bactérias selecionadas nos solos do Cerrado Maranhenses para biodegradação do 2,4-D. É fundamental a identificação de espécies de plantas que estimulem o crescimento de microrganismos degradadores na rizosfera, o que pode resultar no aumento das taxas de biodegradação do herbicida no solo.

Para Procópio et al. (2009), a preocupação em impedir ou remediar os efeitos negativos da presença de herbicidas nos diversos compartimentos ambientais vem aumentando ao longo dos anos e se alinha com a nova visão de produção, onde o aumento na produtividade não é mais a única meta, mas também manter o nível produtivo ao longo dos anos, com enfoque preservacionista. A sustentabilidade passou a ser umas das palavras mais importantes para designar a modificação do enfoque dos sistemas agrícolas brasileiros. “Manejo Integrado de Pragas, Doenças e Plantas Daninhas”, “Manejo Ecológico de Pragas, Doenças e Plantas Daninhas”, “Agricultura Orgânica”, “Agricultura Alternativa”, “Produção Integrada de Frutas”, “Aproveitamento de Resíduos Orgânicos”, “Racionalização no Uso de Insumos Agrícolas”, são expressões cada vez mais presentes nos projetos de pesquisa e nas diretrizes dos programas de extensão rural das instituições responsáveis pelo desenvolvimento, agora “sustentável” do agronegócio do País. É decorrente desse contexto, que o desenvolvimento de técnicas de remediação de áreas contaminadas com diversos tipos de poluentes vem se desenvolvendo em vários países do mundo, inclusive no Brasil.

2.4. Estratégias para o sucesso da fitorremediação

A fitorremediação é uma alternativa totalmente aceita para despoluição do solo e água contaminados. O sucesso no emprego da fitorremediação como técnica para descontaminação de áreas tratadas por herbicidas depende da natureza química e das

propriedades do composto, além da aptidão ecológica da espécie vegetal a ser empregada. São conhecidas espécies que se desenvolvem bem em todos os ambientes: solo seco, pedregoso, com elevada umidade, de clima quente ou frio, entre outros fatores. Dessa forma, a técnica pode apresentar algumas limitações de aplicação sendo importante ressaltar algumas delas, visando efetivar a remediação e diminuir o tempo de descontaminação. Entretanto, quando comparada a técnicas tradicionais tem sido considerada vantajosa, principalmente por sua eficiência e baixo custo (MELO et al., 2012). Todavia, requer estudos específicos para identificação de espécies capazes de atuar em programas de fitorremediação com amicarbazone (MADALÃO et al., 2012).

2.5. As limitações para o emprego da técnica

Na fitorremediação procura-se entender os mecanismos de defesa e tolerância das plantas em virtude da complexidade de reações envolvidas no comportamento de herbicidas no solo e da interação entre os fatores ambientais. O sucesso da fitorremediação depende da escolha da espécie vegetal e do composto a ser diminuído ou remediado. De acordo com Mariano & Okumara (2012) e Silva et al., (2014), as limitações e dificuldades para utilização das técnicas da fitorremediação: a) áreas contaminadas por herbicidas de amplo espectro de ação ou por misturas de herbicidas implicam maior dificuldade na seleção das espécies remediadoras; b) a persistência e a concentração do herbicida nos sítios contaminados podem requerer maior tempo para uma despoluição satisfatória; c) as condições edafoclimáticas podem restringir o desenvolvimento das espécies remediadoras; d) durante o processo de fitorremediação, as plantas podem metabolizar os compostos, não mineralizando-os completamente, e formar compostos mais problemáticos do que os originais; e) deve-se atentar para o risco de contaminação da cadeia alimentar; f) é necessária a retirada e deposição da biomassa vegetal para outros locais, quando ocorre a fitoextração de herbicidas não metabolizáveis ou metabolizados a outros compostos também tóxicos; g) possibilidade de a espécie remediadora tornar-se de difícil controle posterior; h) a melhoria das condições do solo pode ser requerida, incluindo a quelação do herbicida para facilitar a absorção pelas plantas.

2.6. Escolha da espécie vegetal fitorremediadora

Uma planta boa remediadora deve ser capaz de crescer na presença dos contaminantes e sobreviver sem diminuir sua taxa de crescimento, apesar da captura dos

contaminantes e o seu acúmulo (VASCONCELLOS et al., 2012). Para planejar racionalmente, selecionar e desenvolver as estratégias da fitorremediação segundo Mariano & Okumara (2012) e Silva et al. (2014), algumas características devem ser consideradas na escolha da espécie vegetal a ser utilizada em programas de remediação de áreas contaminadas por herbicidas: a) boa capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao herbicida; b) boa capacidade de retenção do herbicida nas raízes, no caso da fitoestabilização, como oposto a transferência para a parte aérea, evitando sua manipulação e disposição; c) possuir sistema radicular profundo e denso; d) apresentar alta taxa de crescimento e produção de biomassa; e) ter capacidade transpiratória elevada, especialmente em árvores e plantas perenes; f) ser de fácil colheita, quando necessária a remoção da planta da área contaminada; g) ter elevada taxa de exsudação radicular; h) conferir resistência à pragas e doenças, não podem haver pragas e doenças em comum; i) ser de fácil aquisição ou multiplicação de propágulos; j) espécies de fácil controle ou erradicação; l) boa capacidade de desenvolver-se em ambientes diversos.

Uma estratégia para aumentar a captura dos contaminantes é o Melhoramento Genético das plantas com potencial fitorremediador. As espécies apresentam capacidade de acumulação diversificada, de vários contaminantes; ou específica, de um ou poucos contaminantes (VASCONCELLOS et al., 2012). Utilizando-se a variabilidade existente naturalmente dentro das populações e entre indivíduos (BORÉM et al., 2017). Para Morais (2014), ainda que as técnicas de Melhoramento Genético das plantas sejam promissoras e contribuam para atender as demandas atuais. Um gargalo está nas informações quantitativas sobre as complexas características necessárias no entendimento às plantas. Entretanto, estas informações podem ser fornecidas pela fenotipagem, análise quantitativa e/ou qualitativa dos metabólitos, da estrutura e do funcionamento das plantas. Sendo assim, as novas técnicas que utilizam-se desde zepelins instrumentalizados, drones, sensores especiais, espectrômetros que medem luz visível e fluorescência, tomografia, bem como o processamento de imagens por meio de câmara de alta resolução para consolidação destas características.

2.7. Adubos Verdes

Os adubos verdes são plantas cultivadas para melhorar as condições e a nutrição das culturas em sucessão, rotação ou consórcio. Também podem ser utilizadas visando a

supressão de plantas espontâneas, redução de pragas, doenças do solo e influência sobre as condições climáticas (AMBROSANO et al., 2014). Com o objetivo principal na contribuição ao aumento da fertilidade dos solos e consequência produtividade agrícola, mas no contexto da agricultura sustentável com a finalidades de conservação do solo e preservação da qualidade ambiental (MASCARENHAS & WULTKE, 2014). Podendo ser realizada com diversas espécies e famílias de plantas (gramíneas, leguminosas, crucíferas etc), porém, há preferência pelas leguminosas por inúmeras vantagens, dentre as quais se destaca a sua capacidade de fixar nitrogênio em simbiose com bactérias (SILVA et al., 2014). A mucuna preta, mucuna cinza, mucuna anã, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, Lab Lab, feijão de porco e feijão guandu são as principais leguminosas utilizadas em adubação verde e cada uma apresenta uma característica que suprirá a necessidade desejada (PAULA et al., 2017).

A matéria orgânica incorporado ao solo pela adubação verde reflete positivamente em atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SOUZA et al., 2014). Estas plantas ocupam papel fundamental na recuperação de áreas degradadas, pois proporcionam condições ao incrementos da melhoria da matéria orgânica e os atributos dos solos. Cada espécie vegetal explora profundidade e volume característicos do solo e se associa à fauna específica. Ampliando a biodiversidade e melhorando as relações solo-planta-atmosfera-água recomendando-se que, no processo de recuperação, sempre se agreguem diferentes espécies de plantas (HERNANI et al., 2014). As plantas utilizadas como adubos verdes são culturas geralmente muito competitivas e possuem grande poder inibitório sobre determinada plantas daninhas (MONQUERO & HIRATA, 2014).

Numa condição de campo, os adubos verdes podem favorecer a presença de um número maior de microrganismos, que podem contribuir para a degradação do herbicida, já que a interação entre raiz e solo estimula a proliferação da comunidade microbiana na região da rizosfera, decorrente da exsudação de nutrientes aminoácidos e polissacarídeos da planta (ARTHUR et al., 2000). Soares et al., (2013) citam as plantas de adubos verdes com potencial fitorremediadoras de agrotóxicos e metais pesados presentes nos solos contaminados apresentando resultados satisfatórios. Entretanto, a pesquisa com fitorremediação de herbicida é recente e poucos são os trabalhos com enfoque agrônomico. A literatura recente tem dado maior atenção à seleção de plantas enfocando a engenharia genética, e com enfoque apenas ambiental (MADALÃO et al., 2012).

De acordo com Wutke et al., (2014), a taxonomia das espécies estudados nos ensaios de fitorremediação com amicarbazone:

Crotolarias (*Crotalaria breviflora* DC e *Crotalaria spectabilis* Roth)

Taxonomia: Família: Fabaceae

Subfaamília: Papilinoideae

Tribo: Crotalarieae

Feijão Guandu (*Cajanus cajan* (L) Millsp)

Taxonomia: Família: Fabaceae

Subfaamília: Papilinoideae

Tribo: Phaseoleae

Lab-lab (*Dolichos lablab* L.)

Taxonomia: Família: Fabaceae

Subfaamília: Papilinoideae

Tribo: Phaseoleae

Mucuna (*Mucuna pruriens*)

Taxonomia: Família: Fabaceae

Subfaamília: Papilinoideae

Tribo: Phaseoleae

Calopogonio (*Callopogonium mucunoides* Desv)

Taxonomia: Família: Fabaceae

Subfaamília: Papilinoideae

Tribo: Phaseoleae

Leucena (*Leucaena leucocophala* (Lam) de wit)

Taxonomia: Família: Fabaceae

Subfaamília: Mimosoideae

Tribo: Gumimoseae

Nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L)

Taxonomia: Família: Brassiceae

Subfaamília: Brassicoideae

Tribo: Brasiceae

Fedegoso (*Cassia occidentalis* L.)

Taxonomia: Família: Fabaceae

Subfaamília: Caesalpinioideae

Tribo: Cassieae

2.8. Amicarbazone, características técnicas e o seu mecanismos de ação

A atividade biológica de um herbicida na planta ocorre de acordo com a absorção, a translocação, o metabolismo e a sensibilidade da planta ao herbicida e/ou a seus metabolitos. Um mesmo herbicida pode influenciar vários processos metalólicos na planta; a primeira lesão biofísica ou bioquímica que ele causa na planta caracteriza o seu mecanismo de ação. A sequência de todas as reações até a ação final do produto na planta caracteriza o seu modo de ação (FERREIRA et al., 2008). Grande quantidade de informação foi acumulada nos últimos anos, sobre a ação citológica, fisiológica, bioquímica e molecular sobre a ação de herbicidas em diferentes sistemas nas plantas, o que nos permite responder a questão do mecanismo dessas ações de forma mais precisa (FEDTKE, 2012).

Os herbicidas agem no metabolismo celular, nos diferentes processos metabólicos das células vegetais. Segundo Delye et al., (2013), os passos consecutivos da ação do herbicida durante a aplicação são os seguintes: a) a penetração na planta; b) translocação ao local da ação; c) acúmulo no local de ação; d) ligação à proteína alvo; e) dano resultante, morte celular e da planta. É imprescindível o conhecimento do mecanismo de ação do herbicida para adotá-lo corretamente e obter melhor performance.

A características técnicas do Amicarbazone:

O nome do produto: amicarbazone (AMZ);

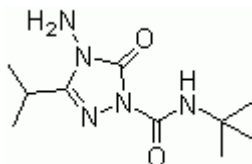
O Grupo químico: Triazolinonas;

O número do registro CAS: 1299909-90-6;

A formula molecular: $C_{10}H_{19}N_5O_2$;

O peso molecular: 241, 29;

Figura 01. A formula estrutural do Amicarbazone



O Limite Máximo de Resíduos - LMR: Cana-de-açúcar e milho: 0,02 mgkg⁻¹;

O Intervalo de Segurança: Cana-de-açúcar: 269 dias e milho: 112 dias;

A ingestão Diária Aceitável – IDA: 0,02 mgkg⁻¹ pc;

O herbicida amicarbazone é registrado para as culturas da cana-de-açúcar e milho, possui nome químico de [1 H-1,2,4-triazole-1-carboxamide, 4 amino-N-(1,1-dimethyl-ethyl)-4,5-dihydro-3-(1-methyl)-5-oxo], pertence ao grupo químico das triazolinonas e controla eudicotiledôneas e algumas monocotiledôneas. O produto comercial é o Dinamic®, comercializado na formulação de grânulos dispersíveis em água (WG), na concentração de 700 g de ingrediente ativo por kg de produto comercial e possui classe toxicológica II (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011; FERREIRA, 2016). A morte das plantas, entretanto, pode ocorrer devido a outros processos, como a peroxidação de lipídeos e proteínas, promovendo a destruição das membranas e clorofila. A aplicação de amicarbazone em cana-de-açúcar deve ser feita em pré ou pós-emergência precoce, quando as plantas daninhas estiverem no máximo com quatro folhas, nas dosagens de 1050 a 1400 g ha⁻¹ para o controle de *B. plantaginea*, *D. horizontales*, *P. maximum*, *B. pilosa*, *C. benghalensis*, *Amaranthus spp.* e *Ipomoea spp.* (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011; FERREIRA 2016).

A inibição da fotossíntese acontece pela ligação dos herbicidas deste grupo ao sítio de ligação da QB, na proteína D1 do fotossistema II, o qual se localiza nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos, causando, por consequência, o bloqueio do transporte de elétrons de plastoquinona QA para QB. Interrompendo a fixação de CO₂ e

a produção de ATP e NADPH₂, os quais são elementos essenciais para o crescimento das plantas (SILVA et al., 2013). Como resultado do bloqueio em o nível da cadeia de transporte de elétrons, a planta não consegue reoxidar a QA, o que gera o tripleto-clorofila (3Chl), que forma singlete-oxigênio (1O₂) ao reagir com oxigênio molecular (O₂). Os ácidos graxos insaturados e lipídios liberam hidrogênio na presença de tripleto-clorofila (3Chl) e singleteto-oxigênio (1O₂) ao formar um radical lipídico, causando assim peroxidação lipídica. A peroxidação lipídica faz com que os lipídios na bicamada e outras proteínas sejam oxidado, produzindo espécies reativas de oxigênio (Shariq et al., 2015). Observa-se a clorose foliar que ocorre em função do rompimento das membranas causados pela peroxidação dos lipídios da membrana (SILVA et al., 2015).

O amicarbazone possui elevada solubilidade em água (4600 mg L⁻¹ a temperatura de 25°C a pH = 4,9), de baixa a moderada capacidade de adsorção no solo (K_{oc} = 23 a 37), fotodegradação desprezível e é praticamente não volátil (pressão de vapor de 0,975 x 10⁻⁸ mm Hg à temperatura de 20°C). A sua degradação é principalmente microbiana, com meia vida de 3 a 6 meses, dependendo das condições de solo e clima, dosagem, tipo e textura do solo, teor de matéria orgânica e quantidade de chuva (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011; FERREIRA, 2016). Devido as suas características e ao seu uso extensivo, o Amicarbazone pode representar um risco ao meio ambiente, tornando emergente a necessidade de desenvolver técnicas de fitorremediação capazes de tratar os solos e a água contaminados (GRAÇA, 2017).

3.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, C.R.C.; MARQUES, M. & BALIEIRO, F.C. **Desempenho de soja e braquiária na fitorremediação de solos contaminados com petróleo** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., Belo Horizonte, 2007. Anais... Belo Horizonte, CBESA/ABES, 2007. 8p. CD-ROM.

AMBROSANO, J.E.;ROSSI, F.; GUIRATO, N.; SHAMMAIS, E.A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, G.M.B. **Adubação verde na agricultura orgânica.** p 45-80 In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde e plantas de coberturas no Brasil: Fundamentos e Práticas. Brasília: EMBRAPA, 2014. V.2.478 p.II.

ANDERSON, T.A; COATS, J.R. Screening rhizosphere soil samples for the ability to mineralize elevated concentrations of atrazine and metolachlor. **Journal of Envirommental**, n.30, p. 473-84, 1995

ANDRADE, J.C.M.; TAVARES, S.R.L.; MAHLER, CF. **Fitorremediação – uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de texto, 2007. 176p

ARAÚJO, L.C.A.; ORLANDA, J.F.F. Biodegradação do herbicida 2,4-D utilizando bactérias selecionadas do solo do cerrado maranhense. **Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 21-32, jan./dez. 2014

ARTHUR, E.L.; PERKOVICH, B.S.; ANDERSON, T.A.; COATS, J.R. Degradation of an atrazine and metolachlor herbicide mixture in pesticide-contaminated soils from two agrochemical dealerships in Iowa. **Water Air Soil Poll**, v.119, n.1-4, p.75-90, 2000.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 3º ed. São Paulo: Bookman, 2011.

BARBOSA FILHO, A.N. **Segurança do trabalho na agropecuária e na agroindústria**. São Paulo: Atlas, 2017. 264p. il

BELO, A.F.; COELHO, A.T.C.P.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n.4, p. 821-8, 2011.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Melhoria de Plantas. Viçosa: UFV, 2017. 543p. il.

BIZÃO, T.C. **Utilização de Echinochloa polystachia (Kunth) Hitchc. (POACEAE) na fitorremediação de solo contaminado com petróleo**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 61p. 2012

CABRAL, C.M.; SANTOS, J.B. Grupo INOVAHERB: excelência em pesquisas sobre fitorremediação de ambientes com resíduos de herbicidas no Brasil, **Revista Científica Vozes dos Vales**, Vales Jequitinhonha e Mucuri – MG, N.09, A.05, P. 1-11, 2016.

CUNNINGHAM, S. Phytoremediation of contaminated soils. **Trends Biotechnology**, v. 13, p. 393-7, 1995.

CUNNINGHAM, S; OW, D.W. Promises and prospects of phytoremediation. **Plant Physiology**, v. 110, p. 715-9, 1996.

DEYLE, C.; JASIENINK, M.; LE CORRE, V. Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds, **Trends Genet**, v. 29, n. 11, p. 649-58, nov/2013.

FAO. **The State of Food Insecurity in the World 2015**. In: MEETING THE 2015 INTERNACIONAL HUNGER TARGETS: TAKING STOCK OF UNEVEN PROGRESS, Roma, 2015.

FEDTKE, C. **Biochemistry and Physiology of Herbicide Action**. 2° ed. Springer-Verlog, New York, 2012. 203p

FERREIRA, F.A.; SILVA, A.A.; GALON, L.; CONCENÇO,G.; FERREIRA, E.A. Mecanismos de ação de herbicidas. In: ZAMBOLIM, L.; PICANÇO, M.C.; SILVA,A.A.; FERREIRA. L.R.; FERREIRA, F.F. **Produtos Fitossanitários (Fungicidas; Inseticidas, Acáros e Herbicidas)**. Viçosa: UFV, 2008. 652p.II.

FERREIRA, P.S.H. **Seletividade dos herbicidas Amicarbazone e Sulfentrazone para cana soca seca, utilizando-se testemunha pareada, e ação na microbiota do solo**. Jaboticabal, 2016. 63 p. II, Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

FRIGGI, L.A. Efeitos do uso de agrotóxicos na saúde e no meio ambiente. **Letras da Terra**, Porto Alegre – RS, v. XIII, n 42, p. 14-15, jun/2015.

FURTADO, M. Remediação do solos para afastar o perigo que se esconde nos subterrâneos das grandes cidades, meios legais e econômicos devem formentar obras de descontaminação. **Química e Derivados**, p. 26-45, 2005.

GAYLARD, C.C.; BELLINASSO, M.L.; MANFIO, G.P. **Aspectos biológicos e técnicas da biorremediação de xenobióticos**. Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento, Brasília, v. 8, n. 34, jan./jun. 2005. Disponível em: <<http://www.biotecnologia.com.br/edicoes/ed34.php>>. Acesso em: 12 fev. 2013.

GOMES, M.A.F; BARIZON, R.R.M. **Panorama da contaminação ambiental por agrotóxicos e nitratos de origem agrícola no Brasil: Cenário de 1992/2011**. Jaguariúna, SP: EMBAPA Meio Ambiente, 2014. 35 p. (Documentos / Embrapa Meio Ambiente, 98).

GRANDE, S.C; CREN, E.C. Demanda de proteína vegetais: potencialidades e a diferencial dos farelos de macaúba (revisão). **Journal of Chemical Engeneering and Chemistry**, Viçosa – MG, V 02, N. 03, P. 190-214, 2016.

GRAÇA, C.A.L. **Degradation of persistente pesticides via advanced oxidation and reductive processes.** São Paulo, 2017. 187 p. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

HAIR JR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TALHAU, R.L. **Análise Multivariada de dados.** Porto Alegre: Bookmam. 6° ed. 2009. 668p. Il.

HERNANI, L.C.; PADOVANI, M.P. **Adubação verde na recuperação de solos degradados.** p.373-98. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde e plantas de coberturas no Brasil: Fundamentos e Práticas. Brasília: EMBRAPA, 2014. V.1.507 p.II. color.

KRUSE, J. Estimating demand for agricultural commodities to 2050. **Report of Global Harvest Initiative**, 2010.

LIMA, M.G.S.LOPES, N.F.; ZIMMER, P.D.; MENEGHELLO, G.E.; MENDES, C.R.; AMARANTES, L. Enzyme expression. In indica and japônica rice cultivares under saline stress. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 34, p. 473-81, 2012. LOPES, D. Plantas nativas do Cerrado uma alternativa para fitorremediação. **Estudos**, v.37, n. 3/4 , p.419-37, 2010.

LOPES, N.F.; LIMA, M.G.S. **Fisiologia da Produção.** Viçosa: UFV, 2015. 492p.

MADALÃO, J.C.; PIRES, F.R.; CAGNELUTTI FILHO, A.; CHAGAS, K.; NASCIMENTO, A.F.; GARCIA, G.O. Fitorremediação de solos contaminados com herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. **Revista de Ciência Agrárias Amazonion Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.55, n.4, p.288-96, out/dez, 2012.

MADALÃO, J.C.; PIRES, F.R.; CAGNELUTTI FILHO, A.; CHAGAS, K.; PROCOPIO, S.O. Uso da leguminosa na Fitorremediação de solos contaminados com herbicida sulfentrazone. **Revista de Agropec. Tropical**, v.42, n.4, p.390-96, out/dez, 2012.

MARIANO, D.C.; OKUMURA, R.S. Aspectos agronômicos, uso pelo homem e mecanismos da fitorremediação: uma revisão. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, V.5, N. Edição Especial, P. 85-101, out., 2012

MASCARENHAS, M.A.A.; WUTKE, E.B. **Adubação, nutrição e fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento dos adubos verdes.** p. 59-168. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde e plantas de

coberturas no Brasil: Fundamentos e Práticas. Brasília: EMBRAPA, 2014. V.1. 507 p. Il. color.

MARQUES, M.; AGUIAR, C.R.C.; SILVA, J.J.L.S.; Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.35, p.1-11, 2011.

MEJIA, P.V.L.; ANDREOLI, F.N.; ANDREOLI, C.V.; SERRAT, B.M. Metodologia para seleção de técnica de fitorremediação em áreas contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, N.31, P.97-104, mar., 2014.

MELO, W.J.; MELO, G.M.P.; MELO, V.P.; LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.I.; BERTIPAGLIA, L.M.A. **Manejo de solos degradados por ação antrópica**. In: ROSA, A.H.; FRACETO, L.F.; MOSCHINI-CARLOS, V. Meio Ambiente e Sustentabilidade. Porto Alegre: Bookman, 2012. 492p. il.

MONQUERO, P.A.; HIRATA, A.C.S. **Manejo de plantas daninhas com adubação verde**. p. 483-507. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde e plantas de coberturas no Brasil: Fundamentos e Práticas. Brasília: EMBRAPA, 2014. V.1. 507 p. Il. color.

MORAIS, L. Novas rotas para melhoramento. **XXI Ciência para Vida – Embrapa: semeando água**, Brasília – DF, n.8, p. 36-46, set-dez, 2014.

NEWMAN, L.A.; DOLY, S.L.; GERY, KL, HEILMAN, P.E.; MUIZNIEKS, I.; SHANG, Q.T.; SIEMINCIK, S.T.; STRAND, S.E; WANG, X; WILSON. A.M; & GORDON, M.P. Phytoremediation of organic contaminants: a review of phytoremediation research at the University of Washington. **Journal of Soil Contaminant**, v. 7, p. 531-42, 1998.

PAULA, E.M. **Sementes e mudas – Utilização de leguminosas nas práticas da adubação verde e rotação de culturas**. Acesso em 15/11/2017.

<http://www.diadecampo.com.br/2pubisher/materias/materia.asp?id=21360secao=sementes%20e%20mudas>.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; SILVA, A.A.; PROCOPIO, S.O.; FERREIRA, L.R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n. 2, p. 335-41, 2003.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; CECON, P.R.; SANTOS, J.B.; TOTOLA, M.R.; PROCOPIO, S.O.; SILVA, A.A. Interferência sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 20, p. 627-34, 2006.

PLESTCH, M.; CHARLWOOD, B.V.; ARAUJO, B.S. Fitorremediação de águas e solos poluídos. **Revista Biotecnologia, Ciências & Desenvolvimento**, n.11, mai/jun, 2000.

PROCOPIO, S.O.; CARMO, M.L.; PIRES, F.R.; CARGNELUTI FILHO, BRAZ, G.B.P.; SILVA, W.F.P.; BARROSO, A.L.L.; SILVA, G.P.; CARMO, E.L.; BRAZ, A.J.B.P. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha (*Eleusine coracana*). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p.2517-24, 2008.

PROCOPIO, S.O.; PIRES, F.R.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A. **Fitorremediação de solos com resíduos de herbicidas**. (Boletim técnico n° 156). Aracaju: Embrapa, 2009. 32 p.

PROCOPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; PIRES, F.R.; SILVA, A.A.; SANTOS, E.A.; CARGNELUTI FILHO, A. Development of bean plants in soil contaminated with trifloxysulfuron-sodium after *Stizolobium aterrium* and *Canavalia ensiformis* cultivation. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n.1, p. 87-96, 2007.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de Herbicidas**. 6° ed. Londrina: IAPAR. 2011. 697p.

SANTOS, A.P. **Manejo de plantas daninhas. Milho, soja e safrinha** <http://www.pioneersementes.com.br/blog/13/manejo-de-plantas-daninhas>. Acesso em 28/08/2016

SANTOS, C.F.; NOVAK, E. Plantas nativas do cerrado e possibilidades em fitorremediação. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 7, n.1, p. 67-78, jul/2013.

SANTOS, E.A.; CORREIA, N.M.; BOTELHO, R.G. Resíduos de herbicidas em corpos hídricos – Uma revisão, **RBH**, Londrina, v. 12, p. 188-201, mai/ago, 2013.

SANTOS, J.B.; PROCOPIO, S.O.; SILVA, A.A.; PIRES, F.R.; RIBEIRO JUNIOR, J.L.; SANTOS, E.A.; FERREIRA, I.R. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium, **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n.2, p. 223-230, 2004.

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.; SILVA, C.M.M.S.; SCRIMIN, S. **Biodegradação**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p. 369-371.

SHARIQ, N.; ZOHAIB, K.; VIVERK, V.; HAROON, R.; MICHAEL, G. Biodegradable materials for bone repair and tissue engineering applications, **Journal of Materials Science**, Switzerland, v.8, n.9, p. 5744-5794, 2015.

SILVA, A.A.; D'ANTONINO, L.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR, R.S. **Comportamento de herbicidas no solo**. In: MONQUERO, P.A. Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas. São Carlos: RIMA, 2014. 400p. 167-215p.

SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, L.R. **Herbicida: Classificação e mecanismos de ação**. In: SILVA, A.A.; SILVA, J. Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 367p. Il.

SILVA, A.A.; SILVA, J.F.; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F.A. **Classificação e mecanismos de ação de herbicidas**. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A.A.; PICANÇO, M.C. O que os Engenheiros Agrônomo devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários. Viçosa: Editoras, 2015. 564 p. Il.

SILVA, C.M.M.S.; MELO, I.S.; FAY, E.F. Biotransformação de agrotóxicos e Biorremediação. In: SILVA, C.M.M.S.; FAY, E.F. **Agrotóxicos & Ambiente**. Brasília: Embrapa, 2004. 400p.

SILVA, E.C.; AMBROSANO, E.J.; SCIVITTAPO, W.B.; MURAOKA, T., BUZETTI, S.; CARVALHO, A.M. **Adubação verde como fontes de nutrientes às culturas**. p. 265-305. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde e plantas de coberturas no Brasil: Fundamentos e Práticas. Brasília: EMBRAPA, 2014. V.1. 507 p. Il. color.

SINDIVEG. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. **Vendas de defensivos agrícolas por classes**. Disponível em <http://sindiveg.org.br/> Acesso em 12 de janeiro de 2016.

SOARES, R.; TAKEDA, I.J.M.; BOTARI, J.C.; BOTARI, A. **Fitorremediação como instrumento alternativo saneamento ambiental**. p. 448-52 In: XIII Safety, Health and Environmental Word Congress. 2013. Acesso em <http://www.Copoc.eu./congressses/shewc2013/proc/Works/101.pdf>.

SOUZA, E.R.; FREIRE, M.B.G.S.; CUNHA, K.P.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; RUIZ, A.; LINS, C.M.T. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.82, p. 20-7, 2012.

SOUZA, L.C. **Águas subterrâneas e a legislação brasileira**. Curitiba: Juruá, 2009.236 p.

SOUZA, L.C.; SOUZA, L.D.; CARVALHO, J.E.B. **Adubação verde na física do solo**. p. 335-369. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. **Adubação verde e plantas de coberturas no Brasil: Fundamentos e Práticas**. Brasília: EMBRAPA, 2014. V.1. 507 p. Il. color.

SURSULA, S.; MEDINA, V.F.; MCCTCHEON, S.C. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. **Ecology Eng.**, v.18, p. 647-58, 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA.

Evaluation of phytoremediation for management of chlorinated solvents in soil and groundwater. Washington, 2005. 42p.

WULKE, E.B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L.P. **Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso**. p 45-80 In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. **Adubação verde e plantas de coberturas no Brasil: Fundamentos e Práticas**. Brasília: EMBRAPA, 2014. V.2.478 p.II.

WILSON, F.C.; WHITWELL, T.; KLAINE, S.J. Phytotoxicity uptake and distribution of C-simazine in *Acorus gramineus* and *Pontederia cordata*. **Weed Science**, v. 48, n.6, p 701-9, 2001.

4.SELEÇÃO DE ESPÉCIES PARA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM AMICARBAZONE.

RESUMO

O experimento foi instalado em casa de vegetação do CECA – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em Rio Largo – Alagoas, no

período de janeiro a julho 2016, utilizando-se vasos 10 dm³ de solo. O objetivo foi avaliar o comportamento de diferentes espécies vegetais na fitorremediação de solo contaminado por amicarbazone em doses crescentes em planta bioindicadora feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Os tratamentos foram compostos de 09 espécies de plantas: Mucuna preta cv mucuna preta (*Mucuna pruriens*); Crotalaria breviflora cv comum (*Crotalaria breviflora* DC); Calopogonio sp cv comum (*Calopogonium mucunoides* Desv); Lab Lab cv songai (*Dolichos lablab* L); Feijão guandu cv fava larga (*Cajanus cajan* (L) Millsp); Nabo forrageiro cv sl 1000cv (*Raphanus sativus* L); Crotalaria spectabilis (*Crotalaria spectabilis* Roth); Fedegoso (*Cassia occidentalis* L.); Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de wit) e um tratamento sem cultivo (controle) e quatro doses do amicarbazone (0; 0,5; 1,0; 1,5 kg.ha⁻¹), respectivamente (0; 350; 700; 1050 g.i.a. ha⁻¹). O Delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 10 X 04 com quatro repetições. Aos 30 e 60 dias de sucessão as espécies foram observados em folhas de feijão: Fitotoxicidade das folhas, teor de Clorofila total em laboratório, taxa de Transferência de elétrons (ETR), Índice SPAD e Índice Clorofila Falker (ICF) e aos 60 dias Matéria seca. Foi realizada Análise Multivariada dos dados. Os resultados permitiram concluir: espécies com potencial fitorremediadoras para amicarbazone a Mucuna preta, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, Nabo forrageiro e Calopogonio. Apresentou correlações simples nas variáveis observadas. Alta correlações matricionais e alta similaridade entre Índice SPAD e Índice Clorofila Falker, Fitotoxicidade, Taxa de transferência de elétrons e Matéria seca.

Palavra-chave: Restauração, Herbicidas, Biodisponibilidade.

ABSTRACT

The experiment was carried out in a vegetation House of the CECA – Agricultural Sciences Center the Federal University of Alagoas (UFAL), in Rio Largo - Alagoas, from January to July 2016, using 10 dm³ pots of soil. The objective was to evaluate the behavior of different plant species in the phytoremediation of soil contaminated with amicarbazone at increasing doses in a bean bioindicator plant (*Phaseolus vulgaris* L.). The treatments were composed of 09 species of plants: Black Mucuna cv mucuna black (*Mucuna pruriens*); *Crotalaria breviflora* cv common (*Crotalaria breviflora* DC); Calopogonium sp cv common (*Calopogonium mucunoides* Desv); Lab Lab cv songai (*Dolichos lablab* L); Beans guandu cv fava largo (*Cajanus cajan* (L) Millsp); Turnip forage cv sl 1000cv (*Raphanus sativus* L); *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis* Roth); (*Leucaena leucocephala* (Lam) de wit) and a treatment without culture (control) and four doses of amicarbazone (0; 0.5; 1.0; 1.5 kg.ha⁻¹), respectively (0, 350, 700, 1050 g.a.i. ha⁻¹). The experimental design was a randomized complete block design in a 10 X 04 factorial scheme with four replications. At 30 and 60 days of succession, the species were observed in leaves: Leaf Phytotoxicity, Total Chlorophyll content in the laboratory, Electron Transfer rate (ETR), SPAD Index and Falker Chlorophyll Index (ICF) and at 60 days Matéria dry. Multivariate analysis of the data was performed. The results allowed to conclude: species with potential phytoremediation for amicarbazone the black Mucuna, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, forage turnip and Calopogonio. It presented simple correlations in the observed variables. High matritional correlations and high similarity between SPAD Index and Falker Chlorophyll Index, Phytotoxicity, Electron Transfer Rate and Dry Matter.

Keywords: Restoration, Herbicides, Bioavailability.

4.1 Introdução

A crescente utilização de herbicidas pré-emergentes com longo efeito residual no solo exerce influência no controle de plantas daninhas, mas as características físico-químicas do herbicida, do solo, as condições edafoclimáticas, os herbicidas podem ou não ser degradados durante o ciclo da cultura. O período de permanência desses compostos no solo varia com o potencial de lixiviação, adsorção, transformação química e degradação biológica. Contudo, tem-se observado em algumas situações a ocorrência de toxicidade em culturas sensíveis, semeadas após a utilização de herbicidas, cujos efeitos residuais podem variar de alguns meses a anos, podendo comprometer o desenvolvimento de nova cultura, além de causar impactos ao meio ambiente (MENDES et al., 2015). É desejável a seleção de espécies que além de fitorremediarem o contaminante apresentem fácil controle posterior (PIRES et al., 2006). A sua utilização será baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. A fitorremediação tem-se apresentado como técnica promissora para descontaminação de áreas tratadas com herbicidas residuais devido ao menor impacto negativo ao ambiente, custo e pode ser aplicado à grandes áreas. A sua verificação da capacidade remediadora ocorre através de bioensaio, cromatografia e radioisótopos (SANTOS et al., 2017).

O amicarbazone é um herbicida de grande espectro e que controla as principais plantas daninhas mono e eudicotiledôneas da cultura da cana-de-açúcar, sendo absorvido pelo sistema radicular e pelas folhas. É aplicado em pré-emergência e pós-emergência inicial com meia vida que varia de 90 a 180 dias dependendo das peculiaridades da área na qual é utilizado. Pode ser aplicado em combinação para aumentar o espectro de controle. Tem como características principais a elevada solubilidade em água (4600 mg L⁻¹ à 25°C e pH = 4,9) e baixa a moderada capacidade de adsorção (Koc de 23 a 37), o que leva a ser considerado um produto com alta mobilidade no solo. É um herbicida não volátil, pois apresenta pressão de vapor de 0,975 x 10⁻⁸ mm Hg (1,3 x 10⁻⁶ Pa) à temperatura de 20°C, com densidade 1,12 g/ml-1 e kow 1,23 (pH 7,0) (SIMÕES, 2015). Com o seu principal mecanismo de ação sendo a inibição do fotossíntese, atuando na reação de Hill inibindo o transporte de elétrons e paralisação de CO₂ fixação e produção

de ATP e NADPH₂ que são essenciais para crescimento das plantas (POSSAMAI et al., 2013). Para Cid & Teixeira (2017), a fotossíntese constitui o mais importante conjunto de reações químicas do nosso planeta. Segundo Floss (2011), o processo fotossintético está na dependência de fatores externos do ambiente e internos: genéticos e fisiológicos, que atuam concomitantemente. Os fatores ambientais que mais influem na intensidade do processo fotossintético de forma direta são a luz, gás carbônico, água, temperatura, nutrientes, pragas, herbicidas e doenças. Indiretamente a latitude, a altitude, precipitação, topografia, textura, estrutura e composição do solo.

A utilização de adubos verdes pode ser considerada de maneira incontestável como uma prática agrícola sustentável que fornece benefícios a cultura principal e ao solo, conseqüentemente aumento de produtividade e diminui os custos. Melhorando as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo (CASTILLO, 2016).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento de diferentes espécies vegetais na fitorremediação de solo contaminado por amicarbazone em planta bioindicadora feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) que apresenta alta sensibilidade ao herbicida de interesse.

4.2 Material e Métodos

4.2.1. Local

O experimento foi instalado em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), em Rio Largo – Alagoas, latitude 9° 29' 45" , longitude 35° 49' 54" e altitude 165 metros (CASAGRANDE et al., 2017), no período de janeiro a junho 2016, utilizando-se vasos sem furos contendo 10 dm³ de solo, capacidade de campo (CC) é 0,2445 m³m⁻³ (SILVA et al., 2013). O solo coletado na profundidade de 0 a 0,2 m, peneirado em malha de 4 mm. Foi coletado uma amostra desse solo que, em seguida obtida análise químicas: pH (em água) = 5,3; Na = 33 ppm; P = 26 ppm; K = 72 ppm; Ca + Mg = 4,2 meq100mL⁻¹; Ca = 3,1 meq100mL⁻¹; Mg = 1,1 meq100mL⁻¹; Al = 0,02 meq100mL⁻¹; H + Al = 3,6 meq100mL⁻¹; S = 4,53 meq100mL⁻¹; CTC Efetiva = 4,55 ; CTC a pH 7,0 = 8,13 ; % V (Ind. de Saturação de Bases) = 55,7 % ; % M (Ind. de Saturação de Alumínio) = 0,4 % ; % Na (PST)= 1,8; Saturação de Potássio = 2,3 % ; Matéria Orgânica Total (%) = 1,91; Ferro = 245,5 ppm; Cobre = 0,96 ppm; Zinco = 1,60 ppm; Manganês = 5,92 ppm;

Os tratamentos foram compostos de 09 espécies de plantas: Mucuna preta cv mucuna preta (*Mucuna pruriens*); Crotalaria breviflora cv comum (*Crotalaria breviflora* DC); Calopogonio sp cv comum (*Calopogonium mucunoides* Desv); Lab Lab cv songai (*Dolichos lablab* L); Feijão guandu cv fava larga (*Cajanus cajan* (L) Millsp); Nabo forrageiro cv sl 1000cv (*Raphanus sativus* L); Crotalaria spectabilis (*Crotalaria spectabilis* Roth); Fedegoso (*Cassia occidentalis* L.); Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de wit). Mais um tratamento sem cultivo (controle) e quatro doses do amicarbazone (0; 0,5; 1,0 ; 1,5 kg.ha⁻¹), respectivamente (0; 350; 700; 1050 g.i.a. ha⁻¹). O Delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 10 X 04 com quatro repetições (Figura 02).

Figura 02. Disposição dos ensaios em casa de vegetação, na sequência após o plantio das espécies fitorremediadoras e após o plantio sucessório do feijão.



Após o preenchimento dos vasos, amicarbazone foi aplicado em pré-emergência, utilizando-se um pulverizador pressurizado com CO₂, com volume de calda 200 Lha⁻¹, aplicando-se a temperatura do ar de 27° C e 80 % de umidade relativa do ar. Vinte dias após o termino desta etapa realizaram-se a semeadura das espécies vegetais, distribuindo-se seis sementes por vaso em profundidade de 0,05 m. Após a emergência das plântulas, foi feito um desbaste aleatório, deixando-se duas plântulas por vaso. Todos os vasos foram irrigados diariamente mantendo o solo em 60 % da capacidade de campo.

Aos 60 dias após a semeadura (DAS) as plantas foram cortadas na altura do coleto. Foram retiradas amostras do solo em cada tratamentos para serem analisadas novamente. Este procedimento foi realizado para suprir ao solo os nutrientes que foram extraídos pelo cultivo das espécies fitorremediadoras. Após esta etapa as sementes feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) foram imediatamente semeadas, distribuindo-se seis sementes por vaso numa profundidade de 0,05 m realizando o bioensaio no próprio vaso. Após a emergência das plântulas, foi feita o desbaste deixando-se duas plantas por vasos (MADALÃO et al., 2012).

Aos 30 dias e 60 dias após a emergência do feijão foram avaliadas:

4.2.2. Fitotoxicidade

A Fitotoxicidade à cultura do feijão foram efetuadas avaliações visuais. Conforme Filho & Christoffoletti (2013), escalas adotadas para as avaliações de fitotoxicidade da European weed research council (ERWC).

4.2.3. Teor de Clorofila Total em laboratório (CLT)

Para avaliar os teores de clorofila total foram retirados da folha +1 5 discos de 7,0 mm de diâmetro colocados em 5 ml de acetona 80 % por 72 h em tubo de ensaio enrolado em papel alumínio com agitação de 30 s. Com espectrofotômetro modelo Genesys 10UV scanning, marca Thermo Scientific (Figura 03). Após foram realizadas as leituras de absorvância nos comprimentos de ondas 710, 663, 645 e 480 nm (TONIN et al., 2015). O cálculo para determinação dos teores clorofila total de acordo com o protocolo de Melo (2016).

4.2.4. Taxa de Transferência de elétrons (ETR)

A Fluorescência à temperatura ambiente - As análises de fluorescência do PSII detectadas em um espectro fluorímetro (modelo QM1; Photon 30 Technology International Inc.USA, Figura 03). Os espectros de emissão de fluorescência da clorofila-a do PSII foram detectados na região entre 600 e 750 nm, a partir da excitação da clorofila-a em comprimento de onda (λ) 438 nm ($\lambda_{exc.} = 438$ nm). Já os espectros de excitação foram registrados na faixa de 400 a 680 nm, a partir da detecção da emissão de fluorescência da clorofila-a a 682 nm ($\lambda_{em.} = 682$ nm) na porção mediana das folhas +1. Quanto a iluminação e detecção fluorescência da clorofila foi seguido o protocolo Yield para mensuração da taxa de transporte de elétrons citado por ARALDI et al., (2012).

4.2.5. Índice SPAD e Índice Clorofila Falker (ICF)

O monitoramento do índice SPAD (Soil and Plant Analyzer Development) foi obtida utilizando-se um clorofilometro portátil – SPAD 502 Minolta Corp., Ramrey., New Jersey, USA, Figura 03). As leituras foram realizadas nos terços superior, médio e inferior da folha +1, sendo posteriormente obtida a média geral das diferentes partes da folha. O mesmo adotado ao ClorofiLog para obtenção do Índice Clorofila Falker (ICF) de acordo

com Rigon et al., (2012). O índice SPAD mede com os comprimentos de onda de 650 nm e 940 nm, enquanto, o ClorofiLog nos comprimentos 635, 660 e 880 nm.

Figura 03. Equipamentos para medição dos ensaios, na sequência Spad 502, ClorofiLog, Espectrofotômetro modelo Genesys e o Fluorímetro.



4.2.6. Determinação da Matéria seca (MS)

Aos 60 dias após o cultivo do feijão a determinação da matéria seca foi realizada retirando-

do a planta rente ao solo e colocando em estufa com circulação forçada de ar sob temperatura de 65 °C até atingir massa constante. Após o período de secagem as partes foram pesadas separadamente utilizando balança de precisão analítica (0,001g) (FREITAS, et al., 2014).

4.2.7. Análise Estatística

Os dados obtidos de todas as variáveis foram submetidos à análise de variância com comparações pelo teste F e entre médias dos tratamentos experimentais com aplicação do teste Tukey a 5% de probabilidade e as curvas de regressão pelo teste F, coeficientes de regressão (R^2), correlação simples de variáveis pelo teste t utilizando o programa estatístico Assist 7.7. (SILVA & AZEVEDO, 2016). Com as recomendações da Estatística Experimental de Barbosa et al., (2015). Análise multivariada de dados utilizando o programa estatístico Statistica version 10.0 para análise de componentes principais, análise de agrupamento e regressão múltipla. Com recomendações de Hair Jr et al., (2009).

4.3. Resultados e Discussão

A Tabela 01 apresenta os resultados do Quadrado médio para Clorofila total (CLT), Taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (ETR), Índice de SPAD, Índice Clorofila Falker (ICF) e Notas de fitotoxicidade em plantas de feijão cultivados após 30 dias de sucessão à espécies fitorremediadoras, em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se que houve interação significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F para os fatores observados nas espécies, interação fator Espécies X doses e doses. Os Coeficientes de Variação para teor de Clorofila Total, Taxa de transporte de elétrons no fotossistema II, Índice de SPAD e Índice Clorofila de Falker apresentaram ótima precisão experimental enquanto que Notas de fitotoxicidade apresentou boa precisão experimental.

Tabela 01. Quadrado médio das variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados após 30 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

C. Variação	Clorofila	ETR	SPAD	ClorofiLog	Nota
Espécies(1)	188884,15**	0,14**	75,26**	31,82**	1,06**
Int Esp.X Doses	11084,57**	0,001**	17,11**	28,37**	0,56**
Doses	845635,37**	0,054**	410,87**	52,07**	1,90**
CV(%)	3,78	2,08	6,83	4,92	13,03

** Significativo no nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 02 apresenta os resultados do Quadrado médio das variáveis teores de Clorofila total (CLT), Taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (ETR), Índice de SPAD, Índice Clorofila Falker (ICF), Notas de fitotoxicidade e Matéria seca (MS) em plantas de feijão cultivados após 60 dias de sucessão à fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se que houve interação significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F para os fatores observados nas espécies, interação fator Espécies X doses e doses. Os Coeficientes de Variação para teor de Clorofila Total, Taxa de transporte de elétrons no fotossistema II, Índice de SPAD, Índice Clorofila de Falker (ICF) e Matéria seca (MS) apresentaram ótima precisão experimental enquanto para Notas de fitotoxicidade apresenta boa precisão experimental. O estudo do espectro de ação da luz tem sido a preocupação central ao desenvolvimento

do conhecimento atual (TAIZ & ZEIGER, (2013); TAIZ et al., (2017)). Demonstra a eficiência relativa aos diferentes comprimento de onda da luz para um processo específico que necessita de luz, como a fotossíntese (RAVEN et al., 2013). Por isso, a preocupação de medir as variáveis observadas e verificar sua interferência na fitorremediação do amicarbazone nas espécies.

Tabela 02. Quadrado médio das variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados após 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

C. Variação MS	Clorofila	ETR	SPAD	ClorofiLog	Nota
Espécies(1) 102,54**	150469,47**	0,014**	73,00**	22,15**	1,03**
Int Esp. X Doses 5,92**	8485,55**	0,001**	17,59**	27,08**	1,76**
Doses 461,02**	679791,29**	0,0168**	343,40**	396,86**	11,22**
CV(%) 4,02	3,36	4,06	8,28	4,98	13,33

** Significativo no nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

A quantidade de clorofilas nas folhas é expressa geralmente em termos de peso ou concentração molar, por unidade de massa (fresca ou seca) ou área foliar. O extrato de pigmentos é obtido por métodos diversos, sendo as amostras foliares usadas diretamente, posteriormente analisado em espectrofotômetro ou em HPLC (CONFORTO et al., 2014). Silva et al.(2011), relatam na limitação desta determinação devido a impossibilidade de estudos em processo evolutivo acerca das alterações biológicas sofridas na cultura em questão.

Na Tabela 03 apresenta Teores de Clorofila Total em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de

cada dose de amicarbazone. Nas dose de 0,0 a 1,5 kg.ha⁻¹ o melhor resultado do teor de Clorofila total foi para folhas de feijão em sucessão de Mucuna preta, entretanto, para dose de amicarbazone de 0,0 a 1,0 kg.ha⁻¹ diferiu estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade das demais tratamentos e no caso da dose 1,5 kg.ha⁻¹ não diferiu estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade dos demais tratamentos. O controle apresenta o pior desempenho para a dose de 0,0 kg.ha⁻¹ que diferiu estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade dos demais tratamentos e para 0,5 a 1,0 kg.ha⁻¹ não diferiu para cultivo de feijão em sucessão à espécies *Crotalaria spectabilis*, feijão guandu, lab lab, fedegoso e leucena. Com estes resultados indicam o aumento do comprometimento da capacidade fotossintética em função das doses do amicarbazone. Na dose 1,5 kg.ha⁻¹ a folha de feijão sucessão de mucuna preta diferiu estatisticamente do controle.

Tabela 03. Teores de Clorofila Total (mg g⁻¹MF) em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	2025.3 a	1417.8 a	1013.0 a	607.8 a
Crotalaria spectabilis	1651.3 cd	1156.0 c	825.8 bc	495.3 bc
Crotalaria breviflora	1854.0 b	1280.3 b	914.8 b	549.0 ab
Calopogonio	1818.8 b	1273.0 b	909.8 b	545.8 ab
Nabo forrageiro	1802.8 b	1262.0 b	901.5 b	540.8 ab
Feijão guandu	1661.5 c	1163.3 c	831.3 bc	498.3 bc
Lab lab	1565.3 de	1095.8 c	783.0 cd	469.5 bc
Fedegoso	1661.3 c	1163.0 c	830.8 bc	498.5 bc
Leucena	1534.3 e	1074.0 cd	767.5 cd	460.5 bc
Controle	1433.3 f	1003.3 d	716.8 d	430.0 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Na Tabela 04 apresenta os Teores de Clorofila Total em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Na dose de 0,0 a 1,0 kg.ha⁻¹ de amicarbazone o melhor desempenho da Clorofila Total foi para folhas de feijão em sucessão com mucuna preta que diferiu estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade das demais espécies e o controle apresentou o pior desempenho da clorofila total, entretanto para dose 0,0 kg.ha⁻¹ diferiu estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade dos demais tratamentos; para dose de 0,5 kg.ha⁻¹ que não diferiu estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade das sucessão das espécies: leucena, lab lab, feijão guandu e *Crotalaria spectabilis*; para dose de 1,0 kg.ha⁻¹ não diferiu estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para sucessão de mucuna preta e para dose de 1,5 kg.ha⁻¹ não difere estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade entre os tratamentos estudados. Na dose 1,5 kg.ha⁻¹ a folha de feijão sucessão de mucuna preta diferiu estatisticamente do controle.

Pelos resultados da Tabela 04 e 05 observa-se que na dosagem 0,5 e 1,5 kg.ha⁻¹ a mucuna preta destaca-se dos demais tratamentos, entretanto, na dosagem 1,5 kg.ha⁻¹, outros tratamentos tais como: o feijão em sucessão a *Crotalaria breviflora*, Calopogonio e Nabo forrageiro apresentam-se com o potencial fitorremediador para o amicarbazone.

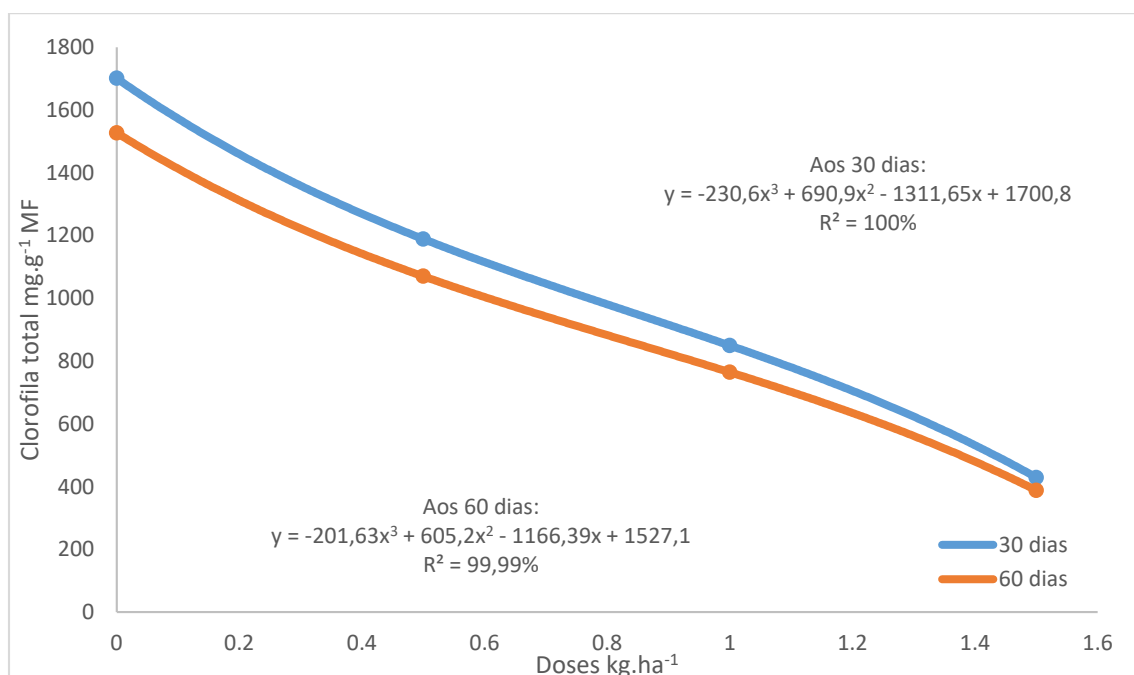
Tabela 04. Teores de Clorofila Total (mg g⁻¹MF) em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta a	1822.75 a	1274.75 a	911.50 a	546.75
Crotalaria spectabilis bcd	1486.00 c	1040.50 c	743.50 de	446.25
Crotalaria breviflora ab	1646.50 b	1152.50 b	823.25 b	494.00

Calopogonio ab	1622.50 b	1146.00 b	819.00 bc	491.25
Nabo forrageiro abc	1622.50 b	1136.00 b	811.25 bcd	487.00
Feijão guandu bcd	1495.50 c	1047.00 c	748.00 cde	448.50
Lab lab bcd	1408.75 d	986.50 cd	707.25 ef	422.50
Fedegoso bcd	1495.50 c	1047.00 c	747.75 cde	448.75
Leucena cd	1381.00 d	966.75 de	685.75 ef	414.50
Controle d	1290.00 e	903.00 e	645.50 f	387.50

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 04. Estimativas dos Teores de Clorofila Total (CT) ($\text{mg g}^{-1}\text{MF}$) nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 04 observa-se que com aumento da dose de aplicação do amicarbazone diminui a os teores de Clorofila Total (CLT) nas folhas de feijão aos 30 e 60 dias após de sucessão das espécies com potencial fitorremediador havendo alta correlação entre o Teor Clorofila Total nas espécies e a dose de amicarbazone. O coeficiente de correlação (r) foi 1,0 para 30 dias e 0,99 para 60 dias correlação entre o teor de Clorofila total e a dose. Foram obtidas curva de regressão cúbica com significância de 1 % de probabilidade pelo Teste F com os respectivos coeficientes de determinação (R^2) foi 100 % para 30 dias e o R^2 foi 99,99 % para 60 dias. As observações dos teores de Clorofila Total nas folhas de feijão de para 60 dias foram menores que 30 dias.

A ETR determina a taxa de transporte de elétrons fotossintéticos no PSII, e o uso do valor do ETR permite detectar o efeito da atuação do herbicida uma medida da separação de cargas do centro de reação do PSII o coeficiente de absorção da folha pode variar com a qualidade da luz, espécie, conteúdo de clorofila e refletância da folha (ARALDI et al., 2011) Sendo o sitio de ação do amicarbazone. Na Tabela 05 encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Na dose de 0,0 a 1,5 kg.ha⁻¹ as folhas de feijão em sucessão mucuna preta apresentou o melhor desempenho diferindo estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade dos demais tratamentos com

exceção para 1,5 kgL⁻¹ acrescenta a melhor performance também nas folhas de feijão em sucessão a *Crotalaria spectabilis* não diferindo dos demais tratamentos. Os menores desempenhos foram para 0,0 kg.ha⁻¹ folhas de feijão em sucessão ao Calopogonio, nabo forrageiro, feijão guandu, lab lab, fedegoso, leucena e controle que não diferem pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade; 0,5 kg.ha⁻¹ folhas de feijão em sucessão ao fedegoso e leucena não diferindo estatisticamente entre si; 1,0 kg.ha⁻¹ folhas de feijão em sucessão ao fedegoso, leucena e nabo forrageiro não diferindo estatisticamente entre si, mas diferindo dos demais. Houve o comprometimento da taxa de transferência de elétrons com os incrementos das doses de amicarbazone.

Tabela 05. Taxa de Transferência de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	0.49 a	0.39 a	0.32 a	0.12 a
Crotalaria spectabilis	0.43 b	0.32 b	0.26 b	0.12 a
Crotalaria breviflora	0.41 c	0.31 cd	0.24 c	0.10 b
Calopogonio	0.38 de	0.32 bcd	0.25 b	0.09 bcd
Nabo forrageiro	0.37 e	0.28 e	0.21 d	0.10 bc
Feijão guandu	0.38 de	0.31 bc	0.25 b	0.09 cde
Lab lab	0.39 d	0.30 d	0.25 b	0.09 cde
Fedegoso	0.38 de	0.24 f	0.19 e	0.08 def
Leucena	0.38 de	0.26 f	0.20 de	0.08 ef
Controle	0.38 e	0.29 e	0.23 c	0.07 f

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Na Tabela 06 encontram-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Nas doses de 0,0 a 1,5 kg.ha⁻¹ o melhor desempenho da Taxa de transferência de elétrons ETR foi para folhas de feijão em sucessão para mucuna preta que diferiu estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade dos demais tratamentos e acrescenta-se

a *Crotalaria spectabilis* para dose de 1,5 kg.ha⁻¹ não diferiu estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade das folha de feijão em sucessão a mucuna preta. Para dose de 0,0 e 1,5 kg.ha⁻¹ o menor desempenho é para o controle que diferiu apenas em folhas de feijão em sucessão de mucuna preta, *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria breviflora*; para dose 0,5 a 1,0 kg.ha⁻¹ os menores desempenho é para folhas de feijão em sucessão a fedegoso e leucena que diferiu dos demais tratamentos estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

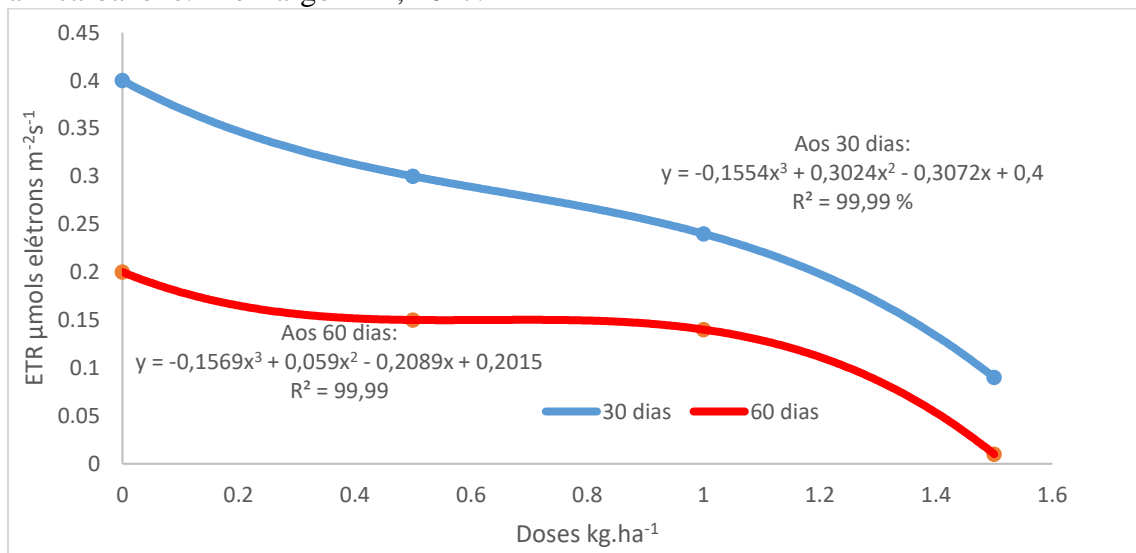
Tabela 06. Taxa de Transferência de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão a espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	0.28 a	0.24 a	0.22 a	0.07 a
Crotalaria spectabilis	0.23 b	0.17 b	0.15 b	0.07 a
Crotalaria breviflora	0.21 c	0.16 bc	0.13 c	0.05 b
Calopogonio	0.18 de	0.16 bc	0.15 b	0.04 bcd
Nabo forrageiro	0.18 e	0.13 d	0.11 d	0.05 bc
Feijão Guandu	0.18 de	0.17 b	0.15 b	0.04 cde
Lab lab	0.19 d	0.15 c	0.15 b	0.04 cde
Fedegoso	0.18 de	0.10 e	0.09 e	0.03 def
Leucena	0.18 de	0.11 e	0.10 e	0.03 ef
Controle	0.18 e	0.14 d	0.13 c	0.02 f

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Observa-se pelas Tabelas 05 e 06, os resultados obtidos demonstram que para dosagem de 0,0 a 1,5 kg.ha⁻¹ a folha de feijão em sucessão a mucuna preta foi superior aos demais tratamentos, para 1,5 kg.ha⁻¹ além da folha de feijão em sucessão a mucuna preta, também apresentou resultado superior foi a folha de feijão em sucessão a *Crotalaria spectabilis*.

Figura 05. Estimativas da Taxa de Transporte de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no fotossistema II nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 05 observa-se que com aumento da dose de aplicação do amicarbazone diminui a Taxa de Transporte de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no fotossistema II nas folhas de feijão aos 30 e 60 dias após de sucessão das espécies fitorremediadoras havendo alta correlação entre a ETR nas espécies e a dose de amicarbazone com os coeficientes de correlação (r) 0,99 para 30 e 60 dias entre ETR e a dose. Foram obtidas curva de regressão cúbica com significância de 1 % de probabilidade pelo Teste F e os coeficientes de determinação (R^2) de 99,99 % para 30 e 60 dias. As observações obtidas de ETR para 60 dias são menores que 30 dias, para doses de 0,0 a 0,5 kg.ha^{-1} os valores da diferença é maior, enquanto que para 1,0 a 1,5 kg.ha^{-1} os valores da diferença são menores.

Na Tabela 07 o efeito da doses no Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar os efeitos de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Nas doses variando de 0,0 a 1,5 kg.ha^{-1} o Índice de SPAD nas folhas de feijão em espécies

em sucessão não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Os melhores desempenhos no Índice SPAD foram para folhas de feijão em sucessão de *Crotalaria spectabilis*, *Calopogonio* e Nabo forrageiro na dosagem de 0,5 kg.ha⁻¹ de amicarbazone, folhas de feijão em sucessão ao nabo forrageiro para 1,0 kg.ha⁻¹ e folhas de feijão em sucessão a *Mucuna preta* para dosagem de 1,5 kg.ha⁻¹.

Tabela 07. Índice SPAD em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
<i>Mucuna preta</i>	44.3 ab	31.0 ab	25.9 ab	22.6 a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	43.43 b	32.2 a	25.1 ab	15.68 bcd
<i>Crotalaria breviflora</i>	42.28 bc	31.1 ab	25.1 ab	15.7 bcd
<i>Calopogonio</i>	44.8 ab	33.48 a	25.65 ab	12.27 d
Nabo forrageiro	48.5 a	33.5 a	27.15 a	19.52 ab
Feijão guandu	41.78 bcd	31.5 ab	25.9 ab	17.58 bc
Lab lab	37.5 d	26.43 c	20.48 c	16.45 bcd
Fedegoso	38.55 cd	29.9 abc	21.7 bc	18.13 b
Leucena	42.3 bc	29.48 abc	22.82abc	13.68 cd
Controle	43.17 b	27.77 bc	20.65 c	12.05 d

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Na Tabela 08 o efeito da doses no Índice SPAD nas plantas de feijão semeados aos 60 dias em sucessão em espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Nas doses variando de 0,0 a 1,5 kg.ha⁻¹ o Índice SPAD nas folhas de feijão em sucessão as espécies não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Os melhores desempenhos no Índice SPAD foram para folhas de feijão em sucessão de *Calopogonio*

e Nabo forrageiro nas dosagens de $0,0 \text{ kgL}^{-1}$ e $0,5 \text{ kgL}^{-1}$ de amicarbazone, folhas de feijão em sucessão ao nabo forrageiro para $1,0 \text{ kg.ha}^{-1}$ e folhas de feijão em sucessão a Mucuna preta para dosagem de $1,5 \text{ kg.ha}^{-1}$. Os resultados estão acima do valores obtidos pelo controle. Nestes casos diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey.

Tabela 08. Índice SPAD em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

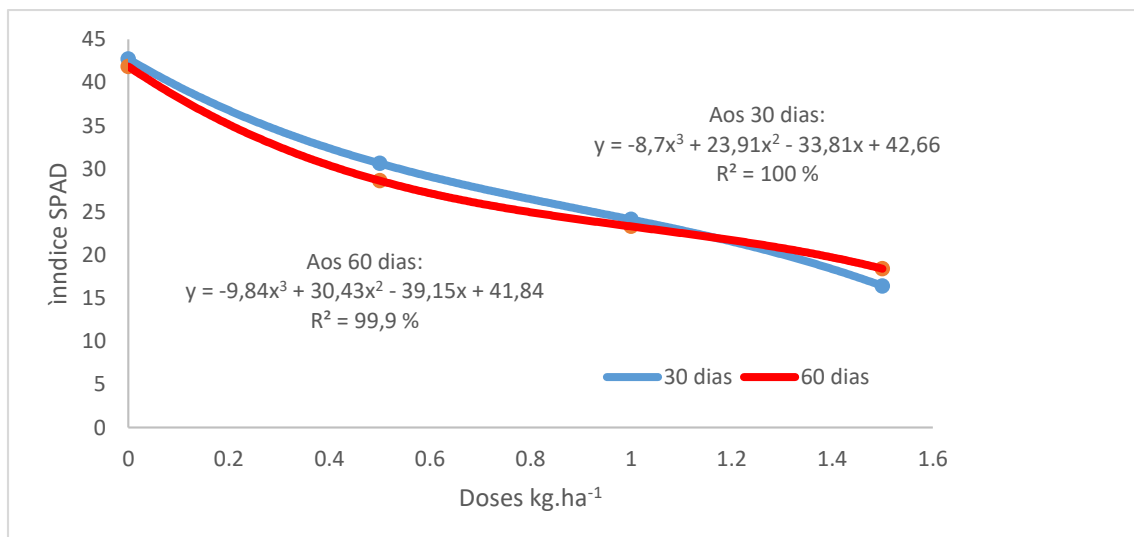
Espécies	Doses (kg.ha^{-1})			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	42.75bc	29.00 abc	24.45 ab	23.07 a
Crotalaria spectabilis abc	43.42 ab	30.20 ab	24.47 ab	18.67
Crotalaria breviflora ab	41.77 bc	29.10 abc	23.60 ab	21.20
Calopogonio	44.25 ab	31.47 a	23.95 ab	15.27 c
Nabo forrageiro ab	48.05 a	31.52 a	25.65 a	21.27
Feijão Guandu abc	41.27 bc	29.55 abc	24.65 ab	19.32
Lab lab abc	34.50 d	24.42 c	20.20 b	19.45
Fedegoso bc	37.80 cd	27.90 abc	21.45 ab	16.12
Leucena	41.87 bc	27.47 abc	24.25 ab	14.40 c
Controle	42.67 bc	25.77 bc	20.17 b	15.07 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Os resultados obtidos nas Tabelas 07 e 08 apresentam muita coerência entre eles. Observa-se o comprometimento dos Índice SPAD com aumento das doses do amicarbazone e os valores dos Índice das folhas de feijão em sucessão as espécies são

maiores que os valores obtidos pelo controle respeitando as diferenças estatísticas pelo teste de Tukey.

Figura 06. Estimativas do Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à espécies nove fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone . Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 06 observa-se as estimativas do Índice SPAD de plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Verifica-se que com aumento das doses ocorre também a diminuição do índice SPAD tanto aos 30 e 60 dias após a sucessão havendo alta correlação entre o índice SPAD nas espécies e a doses de amicarbazone com os coeficientes de correlação (r) 0,99 aos 30 e 60 dias. Comparando as observações de 30 e 60 dias, as doses de 0,0 a 1,2 kg.ha⁻¹ os resultados do índice foi maior para 30 dias e a partir de 1,2 a 1,5 kg.ha⁻¹ foi maior para 60 dias. Observa-se que foram obtidas curva de regressão cúbica com significância de 1%

de probabilidade pelo Teste F e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) de 100 % para 30 dias e R^2 de 99,99 % para 60 dias.

O uso de equipamentos óticos, baseados na absorbância e/ou refletância da luz pela folha intacta. Expressam o conteúdo relativo de clorofilas através de índices próprios, tais como SPAD (Soil Plant Analytical Divison Value), que varia de 0 a 99,9 ou ICF (índice de clorofila de Falker), que varia de 0 a 70. Desta forma, a comparação entre índices (CONFORTO et al.,2014). Tanto o índice SPAD e o índice de Clorofila de Falker são unidades adimensionais (SILVA, 2014).

Na Tabela 09 o efeito da doses no Índice Índice de Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontram-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Na dose 0,0 kg.ha⁻¹ apenas o *Crotalaria breviflora* em sucessão diferiu estatisticamente do controle pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, as demais espécies não aconteceu . Na dose 0,5 e 1,0 kg.ha⁻¹ não existe diferença estatística das folhas de feijão em sucessão as espécies com potencial fitorremediadoras para o controle, enquanto na dose 1,5 kg.ha⁻¹ as folhas de feijão em sucessão as espécies mucuna preta, *Crotalaria spectabilis*, feijão guandu e *Crotalaria breviflora* são superiores ao controle e havendo diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de 5 % probabilidade.

Tabela 09. Índice Clorofila Falker (ICF) em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	49.67 a	37.55 abc	32.22 ab	31.65 a
Crotalaria spectabilis	50.20 a	39.12 ab	33.30 a	31.02 a
Crotalaria breviflora	44.40 b	35.02 c	29.00 b	26.75 b
Calopogonio	50.02 a	40.30 a	30.75 ab	22.57 c

Nabo forrageiro bc	51.77 a	39.97 a	29.05 b	23.20
Feijão Guandu	50.27 a	35.85 bc	28.72 b	31.60 a
Lab lab	50.65 a	38.65 abc	33.25 a	22.65 c
Fedegoso	48.62 a	38.32 abc	31.40 ab	20.65 c
Leucena	47.80 ab	36.57 abc	31.60 ab	22.40 c
Controle c	50.27 a	38.50 abc	31.97 ab	22.37

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Na Tabela 10 o efeito da doses no Índice Índice de Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Na dose de 0,0 a 1,0 kg.ha⁻¹ as folhas do feijão em sucessão as espécies com potencial fitorremediadoras com ICF superiores ao controle não diferiu estatisticamente, enquanto para dose 1,5 kg.ha⁻¹ as folhas do feijão em sucessão as espécies mucuna preta, feijão guandu e *Crotalaria breviflora* possuem ICF superiores ao controle e diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Observe-se o comprometimento do Índice Clorofila Falker com o aumento das doses de amicarbazone.

Tabela 10. Índice Clorofila Falker (ICF) em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

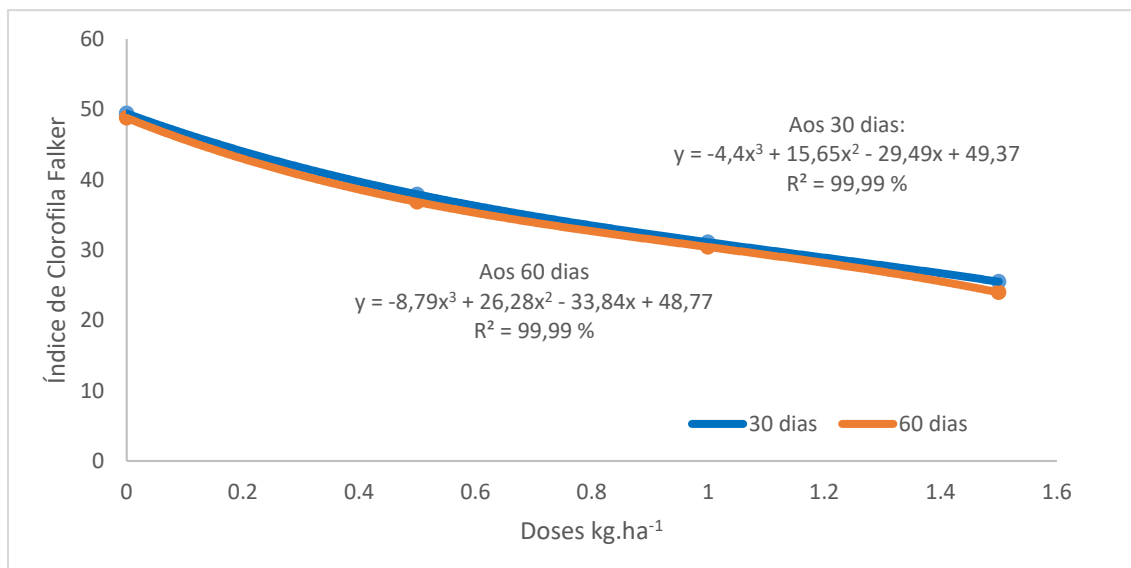
Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	49.17 ab	34.30 bcd	30.72 ab	29.65 a
<i>Crotalaria spectabilis</i> bcd	49.70 ab	37.10 abc	31.80 a	21.52

Crotalaria breviflora	43.97 c	33.02 d	28.20 ab	24.75 b
Calopogonio	49.52 ab	38.30 a	28.25 ab	23.07
bc				
Nabo forrageiro	51.27 a	37.95 ab	27.82 b	21.05
bcd				
Feijão Guandu	49.77 ab	33.85 cd	26.97 b	29.60 a
Lab lab	50.15 a	36.65 abcd	31.75 a	20.65
cd				
Fedegoso	48.15 ab	36.32 abcd	29.90 ab	18.70 d
Leucena	46.02 bc	34.45 abcd	28.60 ab	20.40
cd				
Controle	49.97 a	36.30 abcd	30.22 ab	20.40
cd				

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Os resultados obtidos nas tabelas 09 e 10 para o Índice de Clorofila de Falker apresentam semelhanças. Havendo coerência nos resultados obtidos aos 30 e 60 dias comprometimento dos Índice em função do aumento das doses do amicarbazone. O comportamento do Índice SPAD e Clorofila Falker obtidos aos 30 e 60 dias apresentam semelhanças. Por isso, quando observa-se os resultados obtidos pelo Índice de SPAD e Clorofila Falker apresentam alta similaridade pela análise de agrupamento na Estatística Multivariada de dados.

Figura 07. Estimativas média do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 07 observa-se as estimativas do Índice Clorofila Falker (ICF) de plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Verifica-se que com aumento da dose diminui os valores do índice ICF havendo alta correlação entre dose e o Índice Clorofila Falker nas espécies com os coeficientes de correlação (r) de 0,99 para 30 e 60 dias e a curva de regressão foi cúbica com significância de 1% de probabilidade pelo Teste F e os coeficientes de determinação (R^2) foi de 99,9 % para 30 e 60 dias. Quando compara-se os valores de 30 com os de 60 dias os resultados foram muito próximo.

Estudos básicos sobre fitotoxicidade e tolerância de espécies vegetais aos estresses impostos pelo contaminantes são essenciais para o desenvolvimento da tecnologia de fitorremediação (MELO et al., 2015). Na Tabela 11 o efeito de doses nas notas de fitotoxicidade nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em espécies

fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Nas doses 0,0 e 0,5 kg.ha⁻¹ nenhuma espécie diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade do controle, na dose de 1,0 kg.ha⁻¹ a folha de feijão em sucessão a mucuna preta foi superior ao controle diferindo estatisticamente, na dose de 1,5 kg.ha⁻¹ nas folhas de feijão em sucessão ao calopogonio e nabo forrageiro foram superiores ao controle diferindo estatisticamente.

Tabela 11. Fitotoxicidade em plantas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	2.25b	3.00 a	3.00 b	5.00 a
Crotalaria spectabilis	2.50 ab	3.50 a	3.50 ab	4.00 ab
Crotalaria breviflora	2.50 ab	3.00 a	3.75 ab	4.25 ab
Calopogonio	2.50 ab	3.50 a	3.75 ab	3.75 b
Nabo forrageiro	2.75 ab	3.50 a	3.75 ab	3.25 b
Feijão guandu	2.50 ab	3.75 a	3.50 ab	4.25 ab
Lab lab	2.75 ab	3.25 a	3.75 ab	4.25 ab
Fedegoso	3.50 a	3.25 a	4.00 ab	4.00 ab
Leucena	3.00 ab	3.75 a	3.75 ab	5.00 a
Controle	3.00 ab	4.00 a	4.25 a	5.00 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Na Tabela 12 o efeito de doses nas notas de sintomas de fitotoxicidade nas plantas de feijão semeados aos 30 dias em sucessão em espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Nas doses 0,0 e 0,5 kg.ha⁻¹ nenhum dos tratamentos diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade do controle, na dose de 1,0 kg.ha⁻¹ kg.ha⁻¹ a folha

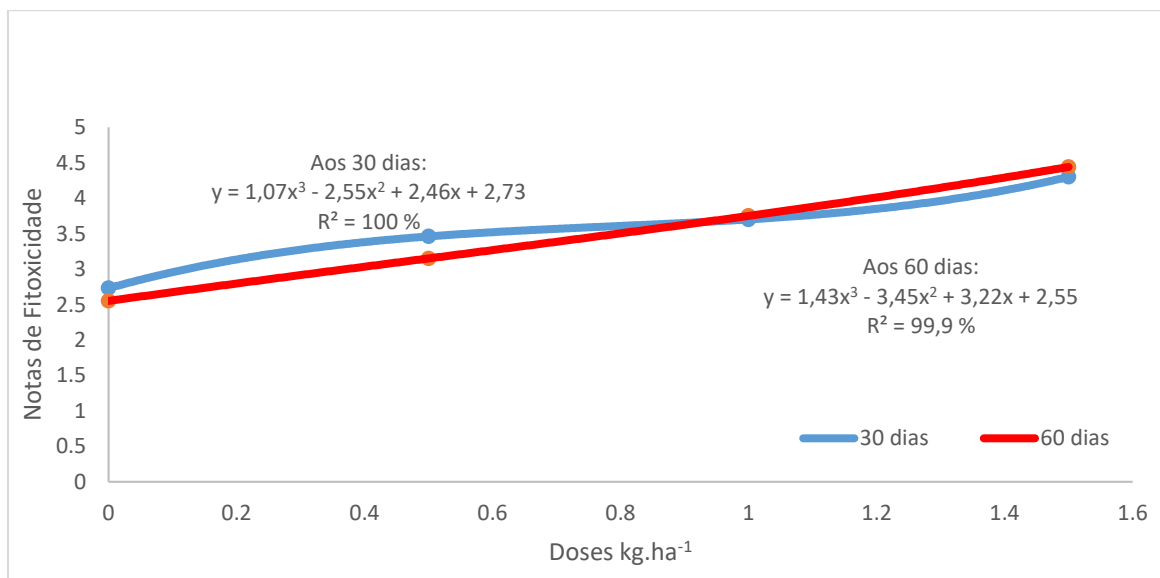
do feijão em sucessão a mucuna preta foi superior ao controle diferindo estatisticamente, na dose de 1,5 kg.ha⁻¹ a folha de feijão em sucessão ao nabo forrageiro foram superiores ao controle diferindo estatisticamente.

Tabela 12. Fitotoxicidade em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	2.25 a	3.00 a	3.00 b	5.00 a
Crotalaria spectabilis	2.50 a	3.50 a	3.50 ab	4.25 ab
Crotalaria breviflora	2.25 a	3.25 a	3.75 ab	4.50 ab
Calopogonio	2.25 a	3.50 a	3.75 ab	4.00 ab
Nabo forrageiro	2.25 a	3.50 a	3.75 ab	3.50 b
Feijão Guandu	2.50 a	3.75 a	3.75 ab	4.50 ab
Lab lab	2.50 a	3.25 a	4.00 ab	4.50 ab
Fedegoso	3.00 a	3.25 a	4.00 ab	4.25 ab
Leucena	3.00 a	3.75 a	3.75 ab	5.00 a
Controle	3.00 a	4.00 a	4.25 a	5.00 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 08. Estimativas média das Notas de Fitotoxicidade nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 08 observa-se as estimativas média das Notas de Fitotoxicidade de plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Com aumento das doses aumenta os valores das notas dos sintomas de fitotoxicidade com alta correlação entre dose e as notas das espécies com o coeficientes de correlação (r) 1,00 para 30 dias e 0,99 para 60 dias. Obtida curva de regressão cúbica para 30 e 60 dias com os coeficientes de determinação de 100 % para 30 dias e 99,9 % para 60 dias. E a significância pelo Teste F para regressão polinomial de 5 % probabilidade para 30 dias e de 1% para 60 dias. As Notas de Fitotoxicidade de plantas de feijão foram maiores para 30 dias para doses de 0,0 a 1,0 kg.ha⁻¹ e acima de 1,0 kg.ha⁻¹ foram para 60 dias.

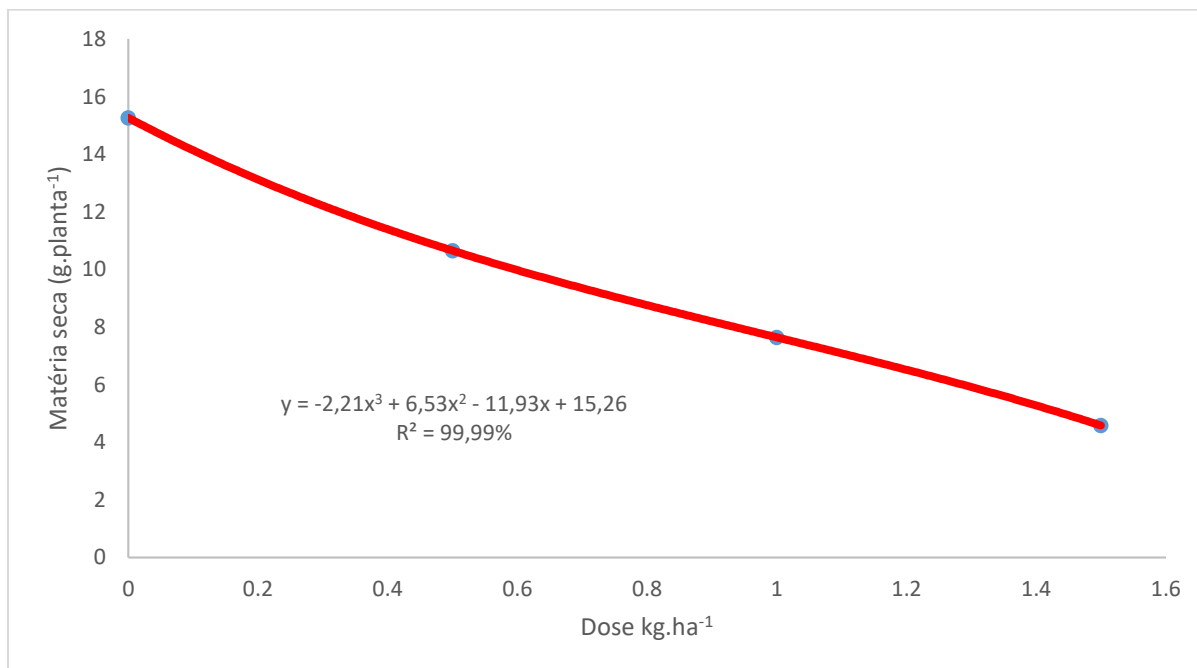
A determinação da matéria seca possibilita a estimativa de taxas de crescimento que quantificam o balanço em intervalo de interesse (FREITAS et al., 2014). Na Tabela 13 encontram-se a Matéria seca (g.planta^{-1}) em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescente amicarbazone. Nas doses 0,0 e 1,0 kg.ha^{-1} o melhor desempenho da Matéria seca foi para folhas de feijão em sucessão a mucuna preta que diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para demais tratamentos, enquanto na dose de 1,5 kg.ha^{-1} a folha de feijão em sucessão a mucuna preta foi superior aos demais tratamentos não havendo diferença estatisticamente pelo teste de Tukey. Mas estes resultados quando comparados com o controle deferiram estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % probabilidade.

Tabela 13. Matéria seca (g.planta^{-1}) em plantas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha^{-1})			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	18.3 a	12.8 a	9.1 a	5.5 a
Crotalaria spectabilis	14.9 c	10.4 c	7.4 bc	4.5 bc
Crotalaria breviflora	16.2 b	11.5 b	8.2 b	4.9 ab
Calopogonio	16.4 b	11.5 b	8.2 b	4.9 ab
Nabo forrageiro	16.2 b	11.4 b	8.1 b	4.9 ab
Feijão Guandu	14.9 c	10.5 c	7.5 bc	4.5 bc
Lab lab	14.1 cd	9.9 cd	7.1 cd	4.2 bc
Fedegoso	14.9 c	9.9 c	7.5 bc	4.5 bc
Leucena	13.8 d	9.7 cd	6.9 cd	4.2 bc
Controle	12.9 e	9.0 d	6.5 d	3.9 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 09. Estimativas média da Matéria seca (g.planta^{-1}) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 09. Estimativas média da Matéria seca (g.planta^{-1}) de plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Com aumento das doses diminui os valores de Matéria seca (g.planta^{-1}) nas plantas de feijão com alta correlação entre a dose e os valores de Matéria seca das espécies com o Coeficientes de correlação (r) 0,99. Obtida curva de regressão cúbica com os Coeficientes de Determinação (R^2) de 99,9 %. E a sua significância pelo Teste F para regressão polinomial de 1 % probabilidade.

Na Tabela 14. Encontra-se as correlações simples entre variáveis observadas nas plantas de feijão semeados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Aos 30 dias observa-se correlação alta e positiva para Clorofila total X ETR, Clorofila total X SPAD, ETR X ICF e correlação alta e negativa para Clorofila total X Nota, SPAD X Nota e ICF X Nota, enquanto correlação moderada e positiva para Nota X ICF, ETR X SPAD e SPAD X ICF. Todas as correlações aos 30 dias com teste de significância de 1% de probabilidade de erro pelo teste t. Aos 60 dias observa-se correlação alta e positiva para Clorofila total X ETR e Clorofila total X SPAD e correlação alta e negativa para Clorofila total X Nota e SPAD X Nota. Correlação moderada e positiva Clorofila X ICF SPAD X ICF, enquanto correlação moderada e negativa para ETR X Nota e ICF X Nota. Correlação fraca e positiva para ETR X SPAD Todas as correlações aos 60 dias tiveram significância de 1% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 14. Correlações simples entre variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à nove espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Correlação Simples	30 dias		60 dias	
	r	Teste t	r	Teste t
Clorofila total X ETR	0,81	**	0,73	**
Clorofila total X SPAD	0,77	**	0,74	**
Clorofila total X ICF	0,55	**	0,45	**
Clorofila Total X Nota	-0,80	**	-0,85	**
ETR X SPAD	0,51	**	0,38	**
ETR X ICF	0,79	**	0,64	**
ETR X Nota	-0,70	**	-0,59	**
SPAD X ICF	0,53	**	0,45	**
SPAD X Nota	-0,70	**	-0,77	**
ICF X Nota	-0,79	**	-0,54	**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A tabela 15 apresenta os dados de Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. É aplicada quando há um número grande de variáveis e correlacionadas entre si, com o objetivo de identificar um número menor de novas variáveis alternativas, não correlacionadas e que, de algum modo, sumarizem as informações principais das variáveis originais encontrando os fatores ou variáveis latentes. Observa-se correlações alta e significativas a 5 % de probabilidade em todos os resultados da tabela. As variáveis com alta correlação tendem compartilhar o mesmo fator. Com relação as variáveis que correlaciona com Nota de Fitotoxicidade as correlações são negativas enquanto que as demais são positivas. A medida de adequação de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) foi 0,93 muito boa para aplicação da análise multivariada.

Tabela 15. Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – AL, 2017.

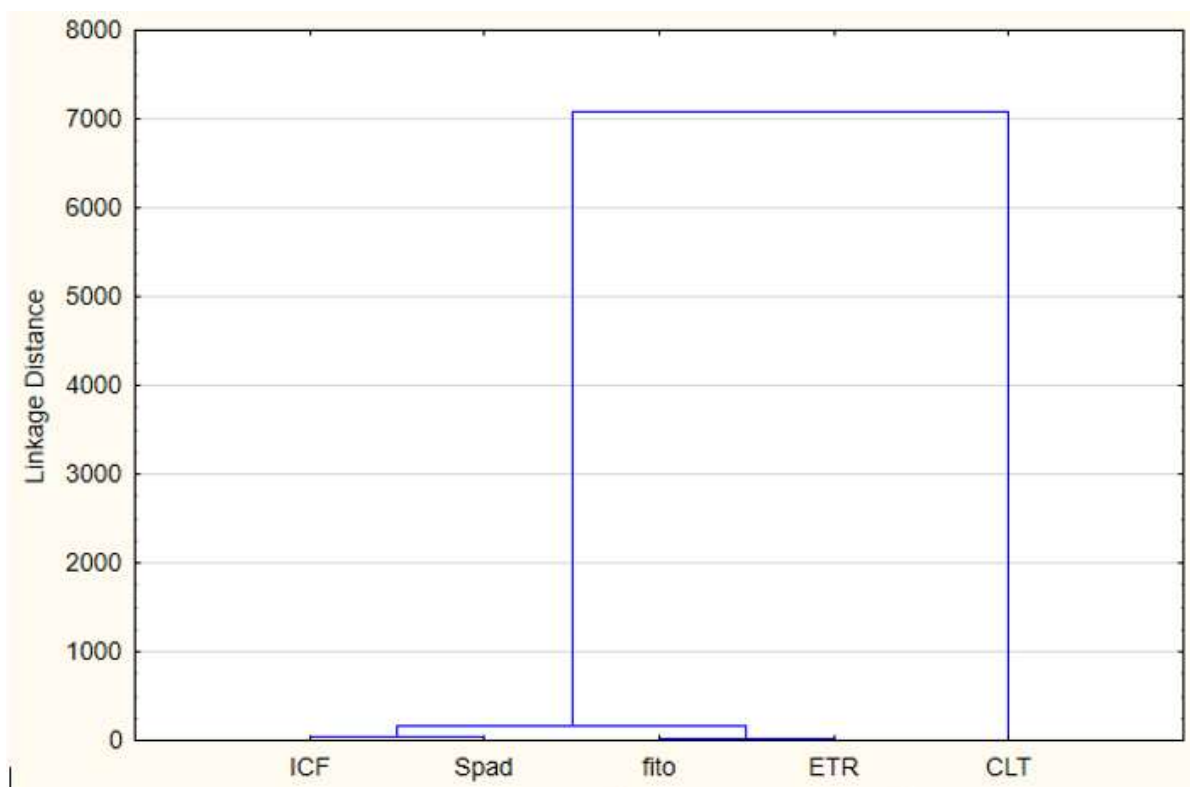
Variável	Matriz de correlação				
	CLT	ETR	SPAD	ICF	Fito
CLT	1	0,95	0,97	0,93	- 0,85
ETR	0,95	1	0,92	0,9	- 0,84
SPAD	0,96	0,92	1	0,94	- 0,82
ICF	0,92	0,89	0,94	1	- 0,76
Fito	- 0,85	- 0,84	- 0,82	- 0,76	1

Obs: CLT: Clorofila total; ETR: Taxa de transferência de elétrons; SPAD: Índice SPAD, ICF: Índice de Clorofila Falker; Fito: Nota de Fitotoxicidade do Herbicida. Número em vermelho: Significância pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Na Figura 10. observa-se o Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de

amicarbazone. Observa-se três agrupamentos: o primeiro agrupamento do Índice de Clorofila de Falker com o Índice de SPAD com alta similaridade, o segundo agrupamento Nota de Fitotoxicidade com Taxa de transferência de elétrons com também alta similaridade e o primeiro agrupamento com o segundo agrupamento forma o terceiro grupo com a Clorofila Total com baixíssima similaridade.

Figura 10. Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.



A Tabela 16 observa-se a Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se correlação alta e significativa a 5 % de probabilidade em todos os resultados da tabela. Apresenta mais uma variável analisada ao 60 dias que foi a Matéria seca. As variáveis com alta correlação tendem compartilhar o mesmo fator. Com relação as variáveis que correlaciona com Nota de Fitotoxicidade as correlações são negativas enquanto que as demais são positivas. Considerando as variáveis estudadas aos 30 e 60 dias os resultados foram muito semelhantes. A medida de adequação de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) foi 0,91 muito boa para aplicação da análise multivariada.

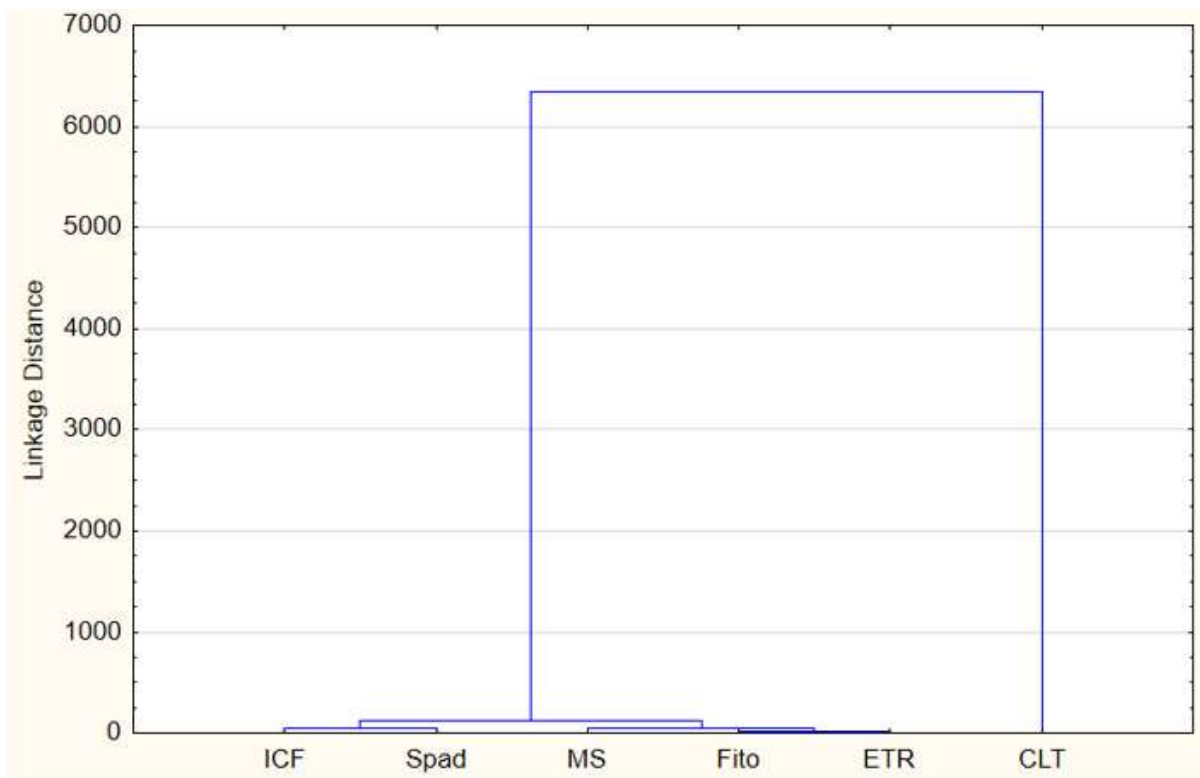
Tabela 16. Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – AL, 2017.

Variável	Matriz de correlação					
	CLT	ETR	SPAD	ICF	Fito	MS
CLT	1	0,87	0,95	0,94	- 0,93	0,99
ETR	0,87	1	0,77	0,79	- 0,86	0,87
SPAD	0,95	0,78	1	0,94	- 0,88	0,95
ICF	0,94	0,79	0,94	1	- 0,85	0,94
Fito	- 0,93	- 0,84	- 0,88	- 0,86	1	- 0,93
MS	0,99	0,87	0,95	0,94	- 0,93	1

Obs: CLT: Clorofila total; ETR: Taxa de transferência de elétrons; SPAD: Índice SPAD, ICF: Índice de Clorofila Falker; Fito: Nota de Fitotoxicidade do Herbicida; MS: Matéria Seca. Número em vermelho: Significância pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Na Figura 11 observa-se o Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se três agrupamentos: o primeiro agrupamento do Índice de Clorofila de Falker com o Índice de SPAD com alta similaridade, o segundo agrupamento Matéria seca, Nota de Fitotoxicidade com Taxa de transferência de elétrons com também alta similaridade e o primeiro agrupamento com o segundo agrupamento forma o terceiro grupo com a Clorofila Total com baixíssima similaridade. Resultados semelhantes obtidos quando comparado os 30 dias com 60 dias considerando as mesmas variáveis analisadas. O agrupamento é uma análise que identifica grupos em objetos de dados multivariados. Com objetivo de formar grupos com propriedades homogêneas de amostras heterogêneas grandes.

Figura 11. Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.



Para 30 dias a Equação de Regressão Multivariada corresponde:

$$\text{Fito} = 4,58 + 0,03\text{ICF} - 0,001\text{CLT} - 2,05\text{ETR} - 0,01\text{SPAD} \quad R^2 = 78,00 \%$$

Para 60 dias a Equação de Regressão Multivariada corresponde:

$$\text{Fito} = 5,19 - 0,006\text{CLT} - 2,6\text{ETR} - 0,018\text{SPAD} + 0,014\text{ICF} + 0,51\text{MS} \quad R^2 = 87,69 \%$$

4.4 Conclusão:

Os resultados obtidos nas avaliações permitem concluir:

A *Mucuna* preta com potencial para fitorremediação do amicarbazone pelas variáveis observadas, também tem potencial para *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria breviflora*, Calopogonio e Nabo forrageiro;

Observa-se correlações simples entre as variáveis estudadas;

Alta correlação matricional entre as variáveis estudadas;

Alta similaridade entre Índice SPAD e Índice Clorofila Falker, Fitotoxicidade, Taxa de transferência de elétrons e Matéria seca.

4.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ARALDI, R.; VELINI, E.D.; GIROTTO, M.; CARBONARI, C.A.; JASPER, S.P.; TRINDADE, M.L.B. E feitos na taxa de transporte de elétrons de plantas daninhas após aplicação de amicarbazone. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, V. 29, N. 3, P. 647-653, 2011.

ARALDI, R.; GIROTTO, M.; VELINI, E.D.; GOMES, G.L.G.C.; JASPER, S.P.; CARBONARI, C.A.; TRINDADE, M.L.B. Eficiência fotossintética e consumo de água de *Ipomoea triloba* após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, V. 30, N. 3, P. 517-524, 2012.

BARBOSA, J.C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Experimentação Agronômica & AgroEstat: sistema para análises Estatísticos de ensaios agronômicos**. Jabotical: Gráfica Multipress Ltda, 2015. 396p.

CASAGRANDE, F.; CORTIVO, F.A.; CASAGRANDE, L.; FREITAS, R.A.; FERREIRA, A. **Balanço Hídrico Climatológico em dois cenários do Nordeste Brasileiro**. 578_91741.pdf. Acesso://www.sbmet.org.br/cbmet2010/ em 06/08/2017.

CASTILLO, G. **Os benefícios da adubação verde e as espécies recomendados para melhor funcionamento do sistema**. <https://3rlab.wordpress.com/2016/04/26/os-beneficios-da-adubacao-verde-e-as-especies-recomendadas-para-melhor-funcionamento-do-sistema/>

CID, L.P.B.; TEXEIRA, J.B. **Fisiologia Vegetal e Conceitos**. Brasília: EMBRAPA, 2017.65p.

CONFORTO, E.C.; MARINÔNIO, L.C.; ANDREOLI, R.P.; GONÇALVES, E.C.P. Validação das unidades arbitrárias do teor de clorofilas obtido em folhas intactas de seringueira Validação das unidades arbitrárias do teor de clorofilas obtido em folhas intactas de seringueira. **Revista Agro@mbiente On-line**, V. 8, N. 2, P. 288-292, maio, 2014.

FILHO, R.V.; CHRISTOFFOLETTI, P.J. **Avaliação da eficácia e seletividade dos herbicidas**. In: SILVA, J.F.; MARTINS, D. Manual de aulas práticas de plantas daninhas. Jaboticabal: Funep, 2013.184p.il.

FLOSS, E.L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2011. 734 p.

FREITAS, R.M.O.; DOMBROSKI, J.L.D.; FREIRAS, F.C.L.; NOGUEIRA, N.W.; PINTO, J.R.S. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico no sistemas de plantio direto e convencional. **Biosci J.**, Uberlandia, v.30, n.2, p. 393-401, mar/abr. 2014.

MADALÃO, J.C.; PIRES, F.R.; CAGNELUTTI FILHO, A.; CHAGAS, K.; NASCIMENTO, A.F.; GARCIA, G.O. Fitorremediação de solos contaminados com herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. **Revista de Ciência Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.55, n.4, p.288-96, out/dez, 2012.

MELO, L.F. **Quantificação de pigmentos fotossintéticos em tecido vegetal (Análise de Clorofila)**. Rio Largo: CECA. 2016. 6 p

MELO, R.F.; DIAS, L.E.; ASSIS, I.R. Potencial de espécies leguminosas para recuperação de solo contaminados por Arsênio. **Revista Brasileiro de Geografia Física**, v.8, n.3, p. 938-49, 2015.

MENDES, K.F.; SOUZA, T.N.R.; POSSAMAI, A.C.S.; INOQUE, M.H.; NUNES, A.K.A.; MERTENS, T.B. Seleção de plantas indicadoras para o monitoramento do mesotrione e metribuzin em solo argiloso. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, MT, V.13, N.1, P.53-59, 2015.

POSSAMAI, A.C.S.; INOUE, M.M.; MENDES, K.F.; SANTANA, D.C.; BEM, R.; SANTOS, E.G. Potencial de lixiviação e efeito residual de amicarbazone em solos de texturas constrates. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.5, p. 2203-2210, set/out, 2013.

PIRES, F.R.; PROCÓPIO, S.O.; SOUZA, C.M.; SANTOS, J.B.; SILVA, G.P. Adubos verdes na Fitorremediação de solos contaminados com herbicida Tebuthiuron. **Caatinga Mossoró, Brasil**, V.19, N.1, P.92-97, jan-mar, 2006.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.830 p. il.

RINGON, J.P.G.; BELTRÃO, N.E.M.; CAPUANI, S. BRITO NETO, J.F.; SILVA, F.V.F. Análise não destrutiva de pigmentos fotossintéticos em folhas de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, V.16, N.3, P.258–261, 2012.
SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; FERREIRA, C.R.; PROCÓPIO, S.O.; PIRES, F.R. **Fitorremediação de áreas contaminadas**. In: SILVA, A. A.; FERREIRA, E. A.; PIRES, F. R.; FERREIRA, F. A.; SANTOS, J. B. ; SILVA, J. Ferreira.; SILVA, J. Francisco.; VARGAS, L; FERREIRA, L. R.; VIVIAN, R.; JÚNIOR, R. S. O.; PROCÓPIO, S. *Proteção de Plantas – Manejo de Plantas Daninhas*. Viçosa, 2010.

SILVA, D.V. **Métodos não destrutivos para estimativas de clorofilas como indicadores da qualidade de mudas de espécies florestais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Santa Cruz , UESC, 2014. 62p.

SILVA, F.V.F.; ROCHA, M.S.; BRITO NETO, J.F.; BELTRÃO, N.M.; SOFIATTI, V. **Avaliação dos teores foliares de clorofila em plantas de algodoeiro cultivadas em altas temperaturas e elevado nível de CO₂**. In: 8º Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton Expo 2011, São Paulo, SP – 2011, P.497-503 (CD-ROM).

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, V.11, N.39, P.3733-3740, 2016.

SILVA, S.; TEODORO, I.; LYRA, G.B.; SOUZA, J.L.; NETO, J.D. Componentes do Kc Dual Padrão Fao-56 para cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. **STAB**, Piracicaba, V.32, N.1, P.40-3, set-out, 2013.

SIMÕES, P.S. **Seletividade de herbicidas inibidores do fotossistema II para cultivares de cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, UNESP, 2015.82 p.

TAIZ, P.H.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TAIZ, P.H.; ZEIGER, E.; MOLLER, J.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.858p.il. color.

TONIN, J.; MACHADO, J.T.M; ROHRIG, B.; SOBCKI, L.; RICHTER, A.F.; BETEMPS, B.; SCHMITT,O.J.; SCHNEIDER,E.P. Modelos lineares e não lineares para determinação indireta de clorofila em folhas de morangueiro. **Revint**, V.3, N.1, P.216-23, 2015.

5. DESENVOLVIMENTO DE FEIJOEIRO APÓS FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM AMICARBAZONE.

RESUMO

O experimento foi instalado em casa de vegetação do CECA – Centro de Ciências Agrárias the Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em Rio Largo – Alagoas, no período de setembro de 2016 a junho 2017, utilizando-se vasos 10 dm³ de solo, objetivo foi avaliar o comportamento de diferentes espécies vegetais na fitorremediação de solo contaminado por amicarbazone em doses crescentes em planta bioindicadora feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) correlacionando-as observações obtidas ao longo do tempo. Os tratamentos foram compostos de 03 espécies de plantas: Mucuna preta cv mucuna preta (*Mucuna pruriens*); *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis* Roth); *Leucaena leucocephala* (Lam) de wit) e um tratamento sem cultivo (controle) e quatro doses do amicarbazone (0; 0,5; 1,0 ; 1,5 kg.ha⁻¹), respectivamente (0; 350; 700; 1050 g.i.a. ha⁻¹). O Delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 04 X 04 com quatro repetições. Aos 30 e 60 dias em sucessão foram observados em folhas de feijão: Fitotoxicidade das folhas, teor de Clorofila total em laboratório, taxa de Transferência de elétrons (ETR), Índice SPAD, Índice Clorofila Falker (ICF) e Determinação da Concentração de Herbicida no solo e aos 60 dias Matéria seca. Foi realizada Análise Multivarida de dados. Os resultados permitiram concluir: as espécies que apresentam efeito fitorremediador a mucuna preta e a *Crotalaria spectabilis*. Apresentou correlação matricional nas variáveis estudadas e alta similaridade entre Índice SPAD e Índice Clorofila Falker e Concentração de Herbicida no solo, Fitotoxicidade, Taxa de transferência de elétrons e Matéria seca.

Palavra-chave: Regressão, Herbicidas e Rotação.

ABSTRACT

The experiment was carried out in a vegetation house of the CECA – Agricultural Sciences Center the Federal University of Alagoas (UFAL), in Rio Largo - Alagoas, from September 2016 to June 2017, using pots 10 dm³ of soil, to evaluate the behavior of different plant species in the phytoremediation of soil contaminated with amicarbazone at increasing doses in a bean bioindicator plant (*Phaseolus vulgaris L.*) correlating the observations obtained over time. The treatments were composed of 03 species of plants: Black Mucuna cv mucuna black (*Mucuna pruriens*); *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis* Roth); *Leucaena leucocephala* (Lam) de wit) and one treatment

without culture (control) and four doses of amicarbazone (0; 0.5; 1.0; 1.5 kg.ha⁻¹), respectively (0, 350, 700, 1050 g.a.i. ha⁻¹). The experimental design used was a randomized complete block design in a 4 x 4 factorial scheme with four replications. At 30 and 60 days in succession were observed on leaf: Leaf Phytotoxicity, Total Chlorophyll content in laboratory, Electron Transfer Rate (ETR), SPAD Index, Falker Chlorophyll Index (ICF) and Determination of Herbicidal Concentration soil and at 60 days Dry matter. Multivariate analysis of data was performed. The results allowed to conclude: the species that present a phytoremediation effect to black mucuna and *Crotalaria spectabilis*. It presented matrional correlation in the studied variables and high similarity between SPAD Index and Falker Chlorophyll Index and Herbicide Concentration in soil, Phytotoxicity, Electron Transfer Rate and Dry Matter

Keyword: Regression, Herbicides and Rotation.

5.1 Introdução

Na cultura da cana-de-açúcar, o método químico de controle de plantas daninhas tem sido preferido pelos produtores, em razão do menor custo, maior eficiência, grande extensão das áreas agrícolas e disponibilidade de registro de diversos produtos, sendo a maioria dos herbicidas recomendados para aplicação em pré-emergência ou pós-emergência inicial, de modo que o destino de grande parte das moléculas é o solo (PINTO CARVALHO et al., 2012). Dentre aos graves problemas ambientais da atualidade encontra-se a contaminação dos solos, que decorre do descarte inadequado de resíduos orgânicos e inorgânicos, tanto de forma proposital quanto acidental. O acúmulo de substâncias em concentrações indesejáveis é responsável por sérios problemas ambientais, prejudica a capacidade do solo de desenvolver as suas várias funções, culmina em diversos problemas de saúde para o ser humano e afeta diversas formas de vida (MARQUES et al., 2011).

A biorremediação consiste no uso de microrganismos capazes de transformar contaminantes em substâncias menos tóxicas. A fitorremediação faz uso de plantas para descontaminação de solos poluídos, promissora nas condições brasileiras, visto a enorme biodiversidade e o clima tropical do país (COUTINHO et al., 2015). Muitos processos envolvidos no comportamento dos herbicidas no ambiente ainda são desconhecidos; no entanto, o entendimento da interação solo-planta-herbicida é determinante na recomendação adequada. Estudos envolvendo herbicidas de longo efeito residual têm alcançado êxito com espécies que, além de acelerarem a redução dos níveis dos compostos no solo, resultam em benefícios agrícolas adicionais, como adubos verdes e forrageiras (MADALÃO et al., 2016). Por outro lado, a escolha adequada de uma técnica

de preparo de amostra é um fator chave na obtenção de resultados confiáveis e exatos, portanto a seleção da técnica e das condições experimentais devem ser conduzidas cuidadosamente. Tal escolha depende da natureza da amostra, da matriz, das características do análio e da técnica analítica que será empregada na determinação, requerendo praticamente um desenvolvimento caso a caso (JARDIM, 2010). Para Bruno et al., (2017), as plantas utilizadas para cobertura do solo têm como função minimizar os impactos provocados pelo uso intensivo do solo, aliando proteção e adubação. Podendo ser utilizados para preservar ou recuperar a fertilidade do solo, sua estrutura física e química, na fixação biológica do nitrogênio atmosférico. Como supressão de plantas invasoras, com efeito alelopático que auxiliam no controle da germinação de plantas invasoras.

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o comportamento de diferentes espécies vegetais na fitorremediação de solo contaminado por amicarbazone em doses crescentes em planta bioindicadora feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) que apresenta alta sensibilidade ao herbicida em estudo.

5.2 Material e Métodos

5.2.1. Local

O Experimento foi instalado em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), em Rio Largo – Alagoas, latitude 9° 29' 45" , longitude 35° 49' 54" e altitude 165 metros (CASAGRANDE et al., 2017), no período de setembro de 2016 a junho 2017, utilizando-se vasos sem furos contendo 10 dm³ de solo, classificado como Latossolo Amarelo coeso argissólico de textura média/argilosa, cuja a umidade na capacidade de campo (CC) é 0,2445 m³m⁻³ (SILVA et al., 2013). Solo coletado na profundidade de 0 a 0,2 m, peneirado em malha de 4mm. Foi coletado uma amostra desse solo que, em seguida obtida análise químicas. O solo coletado na profundidade de 0 a 0,2 m, peneirado em malha de 4 mm. Foi coletado uma amostra desse solo que, em seguida obtida análise químicas: pH (em água) = 5,3; Na = 61 ppm; P = 29 ppm; K = 190 ppm; Ca + Mg = 2,9 meq100mL⁻¹; Ca = 1,9 meq100mL⁻¹; Mg = 1,0 meq100mL⁻¹; Al = 0,02 meq100mL⁻¹; H + Al = 4,5 meq100mL⁻¹; S = 3,65 meq100mL⁻¹; CTC Efetiva = 3,67 ; CTC a pH 7,0 = 8,15; % V (Ind. de Saturação de Bases) = 44,8 % ; % M (Ind. de Saturação de Alumínio) = 0,5 % ; % Na (PST)= 3,4; Saturação de

Potássio = 6,2 %; Matéria Orgânica Total (%) = 3,02; Ferro = 238,3 ppm; Cobre = 1,34 ppm; Zinco = 2,21 ppm; Manganês = 7,7 ppm;

Os tratamentos foram compostos de 03 espécies de plantas: Mucuna preta cv mucuna preta (*Mucuna pruriens*); *Crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis* Roth); Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de wit). Mais um tratamento sem cultivo (controle) e quatro doses do amicarbazone (0; 0,5; 1,0 ; 1,5 kg.ha⁻¹), respectivamente (0; 350; 700; 1050 g.i.a.ha⁻¹). O Delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 04 X 04 com quatro repetições.

Após o preenchimento dos vasos, amicarbazone foi aplicado em pré-emergência, utilizando-se um pulverizador pressurizado com CO₂, com volume de calda 200 Lha⁻¹, aplicando-se a temperatura do ar de 29°C e umidade relativa do ar de 79 %. Vinte dias após o termino desta etapa realizou-se a semeadura das espécies vegetais, distribuindo-se seis sementes por vaso em profundidade de 0,05 m. Após a emergência das plantas, foi feito um desbaste aleatório, deixando-se duas plantas por vaso. Todos os vasos foram irrigados diariamente mantendo o solo em 60 % da capacidade de campo. Aos 60 dias após a semeadura (DAS) das espécies, estas foram cortadas na altura do coleto. Foram retiradas amostras do solo em cada tratamentos para serem analisadas novamente. Este procedimento foi realizado para suprir ao solo os nutrientes que foram extraídos quando o cultivo das espécies fitorremediadoras. Após esta etapa as sementes feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) foi imediatamente semeada, distribuindo-se seis sementes por vaso numa profundidade de 0,05 m realizando o bioensaio no próprio vaso. Após a emergência das plântulas, foi feita o desbaste deixando-se duas plantas por vasos (MALADÃO et al., 2012).

Aos 30 dias e 60 dias do desenvolvimento do feijão foram avaliadas:

5.2.2. Fitotoxicidade

A Fitotoxicidade à cultura do feijão foram efetuadas avaliações visuais. Conforme Filho & Christoffoletti (2013), escalas adotadas para as avaliações de fitotoxicidade da European weed research council (ERWC).

5.2.3. Teor de Clorofila Total em laboratório (CLT)

Para avaliar os teores dos pigmentos fotossintéticos clorofila total foram retirados da folha +1 5 discos de 7,0 mm de diâmetro colocados em 5 ml de acetona 80 % por 72 h em tubo de ensaio enrolado em papel alumínio agitação de 30 s. Utilizando o

espectrofotômetro modelo Genesys 10UV scanning, marca Thermo Scientific usando cubeta de quartzo foram realizadas as leituras de absorvância nos comprimentos de ondas 710, 663, 645 e 480 nm (TONIN et al., 2015). O cálculo para determinação dos teores clorofila total de acordo com o protocolo de Melo (2016).

5.2.4. Taxa de Transferência de elétrons (ETR)

A Fluorescência à temperatura ambiente - As análises de fluorescência do PSII detectadas em um espectro fluorímetro (modelo QM1; Photon 30 Technology International Inc. USA). Os espectros de emissão de fluorescência da clorofila-a do PSII foram detectados na região entre 600 e 750 nm, a partir da excitação da clorofila-a em comprimento de onda (λ) 438 nm ($\lambda_{exc.} = 438$ nm). Já os espectros de excitação foram registrados na faixa de 400 a 680 nm, a partir da detecção da emissão de fluorescência da clorofila-a a 682 nm ($\lambda_{em.} = 682$ nm) na porção mediana das folhas +1. Quanto a iluminação e detecção fluorescência da clorofila foi seguido o protocolo Yield para mensuração da taxa de transporte de elétrons citado por ARALDI et al., (2012).

5.2.5. Índice SPAD e Índice Clorofila Falker (ICF)

O monitoramento do índice SPAD (Soil and Plant Analyzer Development) foi obtida utilizando-se um clorofilometro portátil – SPAD 502 Minolta Corp., Ramrey., New Jersey, USA). As leituras foram realizadas nos terços superior, médio e inferior da folha +1, sendo posteriormente obtida a média geral das diferentes partes da folha. O mesmo adotado ao ClorofiLog para obtenção do Índice Clorofila Falker (ICF) de acordo com Rigon et al., (2012). O índice SPAD mede com os comprimentos de onda de 650 nm e 940 nm, enquanto, o ClorofiLog nos comprimentos 635, 660 e 880 nm.

5.2.6. Determinação da Concentração de Herbicida no solo

5.2.6.1. Extração do solo

Amostra de solo foi homogeneizada em sacos plásticos e, em seguida, pesou-se 4 g de cada amostra sendo acondicionada em cartuchos plásticos com volume total de 10 mL, constituídos por uma pastilha porosa para retenção de partículas de solo e acoplados a um compartimento para a coleta da solução. Logo após, os cartuchos foram saturados com água deionizada, a saturação foi determinada de acordo com observações visuais. A quantidade variou de 1,0 a 1,2 mL para os solos de textura média e de 0,8 a 1,2 mL para

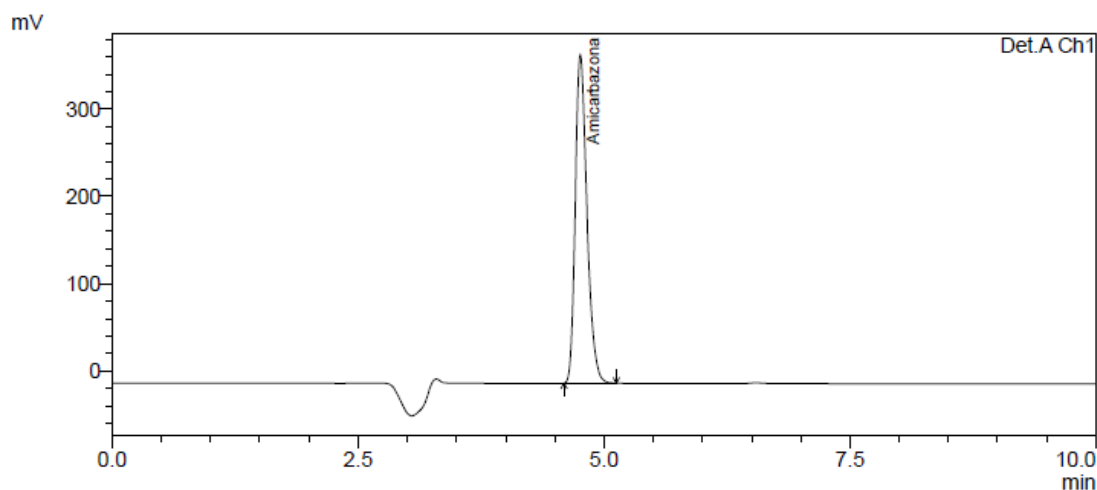
os argilosos e arenosos. Depois de saturados os solos permaneceram em repouso durante 18 horas sob refrigeração (8 ± 3 °C). Para a extração da solução do solo, os cartuchos foram centrifugados a 3270 G, a 15°C por 3 minutos (centrífuga Hettich Zentrifugen). Coletou-se toda a solução presente no coletor e filtrando com seringas plásticas de 3 ml equipadas com filtro Millex - HV (membrana de PVDF 0,45 μ m e 13,0 mm diâmetro) em “ependorf” de 2,0 mL. A solução foi diluída em frascos do tipo “vials” de 2,0 mL (20 μ L de solução + 980 μ L de água deionizada), os quais foram lacrados e armazenados em refrigerador (8 ± 3 °C) até o momento da quantificação dos herbicidas por cromatografia (MATOS et al., 2014).

Figura 12. Equipamento de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) e os vials.



5.2.6.2. Quantificação do Amicarbazone

Figura 13. Cromatograma obtido na determinação do amicarbazone.



A da Equação da reta obtida por 6 pontos $y=1.70056e-005*x-0.426222$ e o Coeficiente de correlação: $r=0.9993171$; Coeficiente de Determinação: $R^2=0.9986346$.

O Volume injectado 20 μL e o tempo de retenção na coluna cromatográfica 4,762 minutos.

O padrão analítico Amicarbazona da marca Sigma Aldrich para HPLC; Água Deionizada; Acetonitrila da marca Merck grau HPLC e Ácido Acético Glacial da marca VETEC para HPLC.

As Condições Cromatógraficas em CLAE

Utilizou-se como método de quantificação residual de Amicarbazone a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) empregando aparelho da marca Shimadzu série 20A, Forno a 35°C, Detector SPD-20A UV-Vis a 221nm, Fluxo de Fase móvel em 0,6mLmin⁻¹, Pressão 46Kgf, volume de injeção 20uL, tempo de corrida 10 minutos. A Fase móvel em modo gradiente: Solução de ácido acético a 0,1% (BOMBA A)/ Acetonitrila (BOMBA B): (50/50)%;

A Fase estacionária: Coluna Shim-pack da marca Shimadzu C₁₈ de 4.6 x 150mm, utilizando uma pré-coluna Shim-pack GVP-ODS 10L x 4.6mm, também da marca Shimadzu.

5.2.7 Determinação da Matéria seca (MS)

Aos 60 dias após o cultivo do feijão a determinação da matéria seca foi realizada retirando a planta rente ao solo e colocando em estufa com circulação forçada de ar sob temperatura de 65 °C até atingir massa constante. Após o período de secagem as partes

foram pesadas separadamente utilizando balança de precisão analítica (0,01g) (FREITAS, et al., 2014).

5.2.8 Análise Estatística

Os dados obtidos de todas as variáveis foram submetidos à análise de variância com comparações pelo teste F e entre médias dos tratamentos experimentais com aplicação do teste Tukey a 5% de probabilidade e as curvas de regressão pelo teste F, coeficientes de regressão (R^2), correlação simples de variáveis pelo teste t utilizando o programa estatístico Assist 7.7. (SILVA & AZEVEDO, 2016). Com as recomendações da Estatística Experimental de Barbosa et al., (2015). Análise multivariada de dados utilizando o programa estatístico Statistica version 10.0 para análise de componentes principais, análise de agrupamento e regressão múltipla. Com recomendações de Hair Jr et al., (2009).

5.3 Resultados e Discussão

A Tabela 17 apresenta os resultados do Quadrado médio das variáveis teores de Clorofila total (CT), Taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (ETR), Índice de SPAD, Índice Clorofila Falker (ICF) e Notas de fitotoxicidade em plantas de feijão cultivado após 30 dias de sucessão à fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se que houve interação significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F para os fatores observados, interação fator Espécies X Doses e tratamentos com exceção para ETR e Notas dos sintomas de Fitotoxicidade que foram não significativos para Interação Espécies X Doses. Os Coeficientes de Variação para Clorofila Total, Taxa de transporte de elétrons no fotossistema II, Índice de SPAD e Índice Clorofila de Falker apresentaram ótima precisão experimental enquanto para Notas para sintomas de fitotoxicidade apresenta boa precisão experimental.

Tabela 17. Quadrado médio das variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados após 30 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

C. Variação	Clorofila	ETR	SPAD	ClorofiLog	Nota
Espécies(1)	145788,22**	0,002**	71,78**	86,71**	0,76**
Int Esp X Doses	4413,39**	0,000 ^{ns}	4,39**	4,42**	0,31 ^{ns}

Doses	232020,01**	0,005**	23,59**	27,38**	1,52**
CV(%)	5,87	8,53	1,21	1,13	18,09

** Significativo no nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

* Significativo no nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

ns Não significativo pelo teste F.

A Tabela 18 apresenta os resultados do Quadrado médio de teores de Clorofila total (CT), Taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (ETR), Índice de SPAD, Índice Clorofila Falker (ICF), Notas fitotoxicidade, Concentração de herbicida no solo e Matéria seca em plantas de feijão cultivado após 60 dias de sucessão à três fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se que houve interação significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F para os fatores observados, interação fator Espécies X Doses para Índice Clorofila Falker (ICF) e os tratamentos. A interação Espécies X Doses para Clorofila total e Matéria seca foram significativa ao 5 % de probabilidade enquanto os demais ETR, Notas de Fitotoxicidade e Concentração de herbicida no solo foram não significativo. Os Coeficientes de Variação para Clorofila Total, Taxa de transporte de elétrons no fotossistema II, Índice de SPAD, Índice Clorofila de Falker e Matéria seca apresentaram ótima precisão experimental enquanto para Notas de fitotoxicidade e Concentração de herbicida no solo apresenta boa precisão experimental.

Tabela 18. Quadrado médio das variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados após 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

C. Variação MS	Clorofila	ETR	SPAD	ClorofiLog	Nota	Concentração
----------------	-----------	-----	------	------------	------	--------------

Espécies(1) 75,12**	119818,7**	0,002**	11,81**	63,53**	1,39**	2,02**
Int Esp X Dose 2,21*	31850,0*	0,000 ^{ns}	2,66**	3,34**	0,21 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Doses 121,2**	191743,7**	0,005**	12,37**	20,37**	11,22**	46,39**
CV(%) 6,03	6,01	7,89	1,94	0,98	14,26	16,61

** Significativo no nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

* Significativo no nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

^{ns} Não significativo pelo teste F.

A principal fonte de energia é a radiação eletromagnética proveniente do Sol utilizado-se de processos físicos, químicos e biológicos (YAMASOE & CORREA, 2016). Sendo assim, a eficiência fotossintética está relacionada ao desenvolvimento das plantas em diferentes ambientes podendo, ao ser determinada, servir de suporte na tomada de decisões. (RINGON et al., 2011) Pouco práticos na avaliação de plantas no campo (FELSEMBURGH & TRIBUZY, 2012). Os métodos destrutivos além de caros e demorados, demandam certa logística para transporte das amostras do campo até o laboratório, o que pode influenciar na precisão dos resultados (MIELKE et al., 2012). Na Tabela 19 o efeito da doses no teor de clorofila total nas plantas de feijão semeados aos 30 dias em sucessão em três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Na dose de 0,0 e 0,5 kg.ha⁻¹ os tratamentos são superiores ao controle e diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, nas doses de 1,0 e 1,5 kg.ha⁻¹ a folha de feijão em sucessão a mucuna preta é superior e diferiu estatisticamente do controle pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 19. Efeito da doses nos teores de Clorofila Total (mg.g⁻¹MF) nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta a	1112.50 a	1001.25 a	834.50 a	445.00
Crotalaria spectabilis ab	975.00 b	877.50 b	754.00 b	390.00
Leucena b	907.75 b	817.00 b	681.00 bc	363.25
Controle b	816.25 c	734.75 c	612.50 c	326.50

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

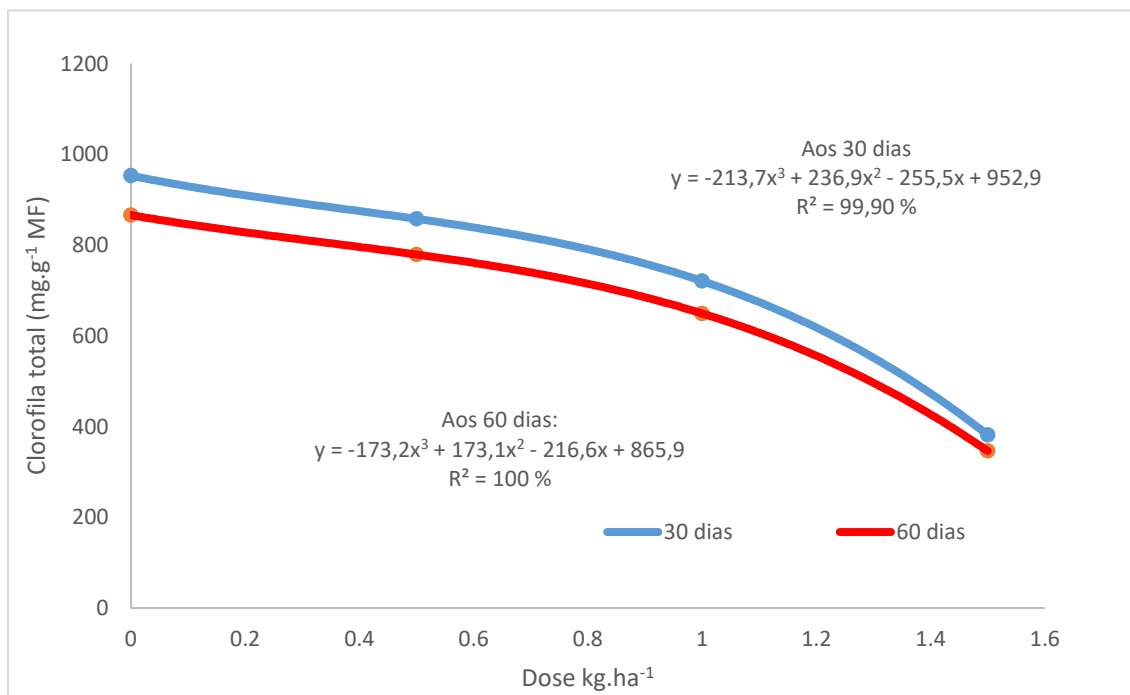
Na Tabela 20 o efeito da doses no teor de clorofila total nas plantas de feijão semeados aos 60 dias em sucessão em três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Nas doses de 0,0 e 0,5 kg.ha⁻¹ as folhas dos tratamentos são superiores ao controle e diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade, nas doses de 1,0 e 1,5 kg.ha⁻¹ a folha de feijão em sucessão a mucuna preta é superior e diferiu estatisticamente do controle pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 20. Efeito da doses nos teores de Clorofila Total (mg.g⁻¹MF) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	1011.00 a	909.75 a	758.25 a	404.25 a
Crotalaria spectabilis ab	886.00 b	797.50 b	664.00 b	354.00
Leucena	825.00 b	742.25 b	618.50 bc	329.50 b
Controle	741.50 c	667.25 c	556.00 c	296.25 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 14. Estimativas dos Teores de Clorofila Total (CT) ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MF}$) nas plantas de feijão cultivado aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone . Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 14 observa-se que com aumento da dose de aplicação do amicarbazone diminui o teor de Clorofila Total (CT) nas folhas de feijão aos 30 e 60 dias após de sucessão das espécies fitorremediadoras havendo alta correlação entre a Clorofila Total nas espécies e a doses de amicarbazone, coeficiente de correlação (r) foi 1,0 para 60 dias e 0,99 para 30 dias foram obtidas curva de regressão cúbica com significância 1% probabilidade pelo Teste F e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) foi 100 % para 60 dias e o R^2 de 99,99 % para 30 dias. As observações para 60 dias são menores que 30 dias.

O monitoramento da transferência de elétrons entre os fotossistemas de plantas sob aplicação de herbicida – que pode ser observada ainda em folhas intactas – é a fluorescência da clorofila, em que a redução na dissipação da energia pelo processo fotoquímico é refletida por incremento correspondente na fluorescência (ARALDI et al., 2012). Na Tabela 21 observa-se o comportamento da Taxa de Transporte de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no fotossistema II de plantas de feijão cultivados aos 30 e

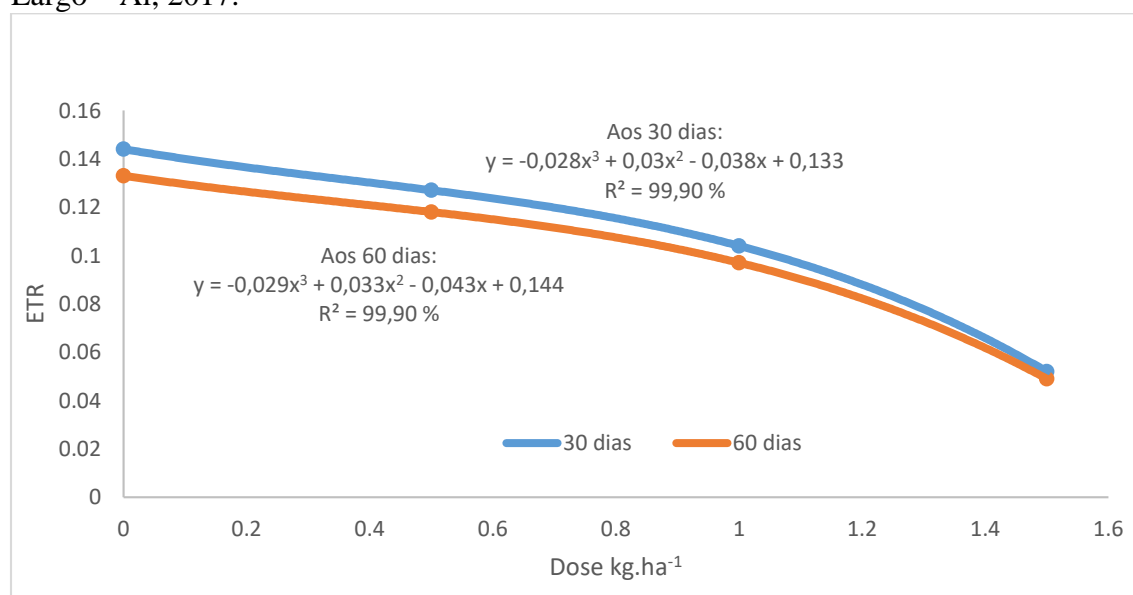
60 dias em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone . Na avaliação aos 30 dias observa-se que as folhas do feijão em sucessão a *Mucuna preta* e *Crotalaria spectabilis* apresentaram os melhores resultados de ETR, entretanto, não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade entre si e a leucena e o controle apresentaram os menores resultados do ETR que não diferiu estatisticamente entre si. Aos 60 dias o melhor resultado para ETR foi para folha de feijão em sucessão a *Mucuna preta* que diferiu estatisticamente para folha de feijão em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, conduto, a leucena e o controle apresentaram os menores resultados para ETR não diferindo entre si estatisticamente.

Tabela 21. Média da Taxa de Transporte de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no fotossistema II nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone . Rio Largo – Al, 2017.

Tratamentos	30 dias	60 dias
<i>Mucuna preta</i>	0,122a	0,113a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	0,114a	0,105b
Leucena	0,098b	0,091c
Controle	0,096b	0,089c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 15. Estimativas da Taxa de Transporte de elétrons (ETR) $\mu\text{mols elétrons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no fotossistema II nas plantas de feijão semeados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 15 observa-se que com aumento da dose de aplicação do amicarbazone diminui a Taxa de Transporte de elétrons (ETR) $\mu\text{mol s}^{-1}$ no fotossistema II nas folhas de feijão aos 30 e 60 dias após de sucessão das três espécies fitorremediadoras havendo alta correlação entre a ETR nas espécies e a dose de amicarbazone com os coeficientes de correlação (r) 0,99 para 30 e 60 dias. Foram obtidas curvas de regressão cúbica com significância de 5% de probabilidade para 30 dias e 1 % de probabilidade para 1 % de probabilidade pelo Teste F e os coeficientes de determinação (R^2) de 99,90 % para 30 e 60 dias. Os resultados de ETR são menores para 60 dias.

A determinação indireta do teor relativo de clorofila fornecem uma leitura única proporcional às clorofilas a e b e aos carotenoides (Minolta Camera Co.). O clorofilômetro SPAD Minolta utiliza dois diodos emissores de luz nas faixas de 650 e 940 nm, enquanto o ClorofiLOG1030 opera em 635, 660 e 850 nm. (Ringon et al., 2012). Na Tabela 22 o efeito da doses do Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Na dose de 0,0 a 1,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ as folhas de feijão em sucessão as espécies são superiores ao controle e diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; na dose de 0,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a folha de feijão a sucessão a mucuna preta é superior e diferiu estatisticamente a *Crotalaria spectabilis* e o controle; na dose 0,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a folha de feijão em sucessão a mucuna preta é superior a todos tratamentos observados; nas doses de 1,0 e 1,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a folha de feijão *Crotalaria spectabilis* é superior e diferiu estatisticamente das demais espécies pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 22. Efeito do Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)			
	0,0	0,5	1,0	1,5

Mucuna preta	41.47 a	43.10 a	38.62 b	38.35 b
Crotalaria spectabilis	40.45 b	40.57 b	40.32 a	39.52 a
Leucena	41.27 ab	41.35 b	38.62 b	37.42 c
Controle	36.70 c	36.57 c	36.65 c	33.67 d

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

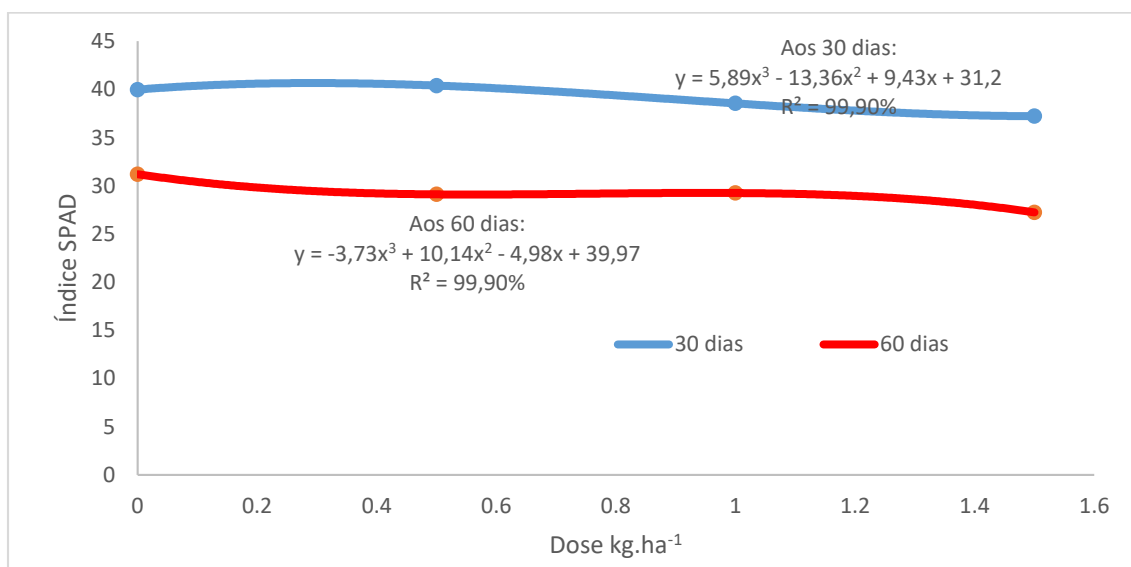
Na Tabela 23 o efeito da doses do Índice SPAD nas plantas de feijão semeados aos 60 dias em sucessão em três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Na dose 0,0 kg.ha⁻¹ a folha de feijão em sucessão a mucuna preta foi superior a demais espécies testadas diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; 0,5 kg.ha⁻¹ a folha de feijão em sucessão a mucuna preta e leucena foram superior a *Crotalaria spectabilis* e diferiu estatisticamente; 1,0 e 1,5 kg.ha⁻¹ a folha de feijão em sucessão a mucuna preta e a *Crotalaria spectabilis* foram superior ao controle e diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 23. Efeito do Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	32.75a	29.32 ab	29.87 a	28.95 a
Crotalaria spectabilis	30.45 b	28.25 c	29.50 a	27.95 a
Leucena	31.30 b	30.35 a	29.15 ab	26.60 b
Controle	30.30 b	28.42 bc	28.42 b	25.42 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 16. Estimativas do Índice SPAD nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone . Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 16 observa-se as estimativas do Índice SPAD de plantas de feijão semeados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Verifica-se que com aumento das doses ocorre também a diminuição do índice SPAD tanto aos 30 e 60 dias após a sucessão havendo alta correlação entre o índice SPAD nas espécies e a dose amicarbazone com os coeficientes de correlação (r) 0,99 aos 30 e 60 dias. Observa-se que foram obtidas curva de regressão cúbica com significância de 1% de probabilidade pelo Teste F e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) foi 99,90 % para 30 e 60 dias. Os índices de 30 dias foram maiores que 60 dias nas doses observadas.

Na Tabela 24 o efeito da doses do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão semeados aos 30 dias em sucessão em três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Nas dose de 0,0 a 1,5 kg.ha⁻¹ o controle é superado pelo os tratamentos testados diferindo

estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. O feijão em sucessão a mucuna preta nas dose 0,0 e 0,5 kg.ha⁻¹; *Crotalaria spectabilis* nas dose 1,0 e 1,5 kg.ha⁻¹; leucena nas dose 0,0 e 1,0 kg.ha⁻¹ são superiores aos demais espécies.

Tabela 24. Efeito do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 30 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	46.15 a	47.42 a	42.97 b	42.65 b
<i>Crotalaria spectabilis</i>	45.05 b	45.15 b	44.85 a	44.00 a
Leucena	45.92 ab	46.02 b	44.37 a	41.65 c
Controle	41.02 c	40.67 c	40.80 c	37.65 d

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Na Tabela 25 o efeito da doses do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão semeados aos 60 dias em sucessão em três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone encontra-se o desdobramento da interação Espécies X Doses, para estudar o efeito de espécies fitorremediadoras dentro de cada dose de amicarbazone. Nas dose de 0,0 a 1,5 kg.ha⁻¹ o controle é superado pelo tratamentos avaliados diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. As folhas de feijão em sucessão a mucuna preta nas dose 0,0 e 0,5 kgha⁻¹; *Crotalaria spectabilis* nas dose 1,0 e 1,5 kg.ha⁻¹; leucena na dose 0,0 kg.ha⁻¹ são superiores aos demais espécies.

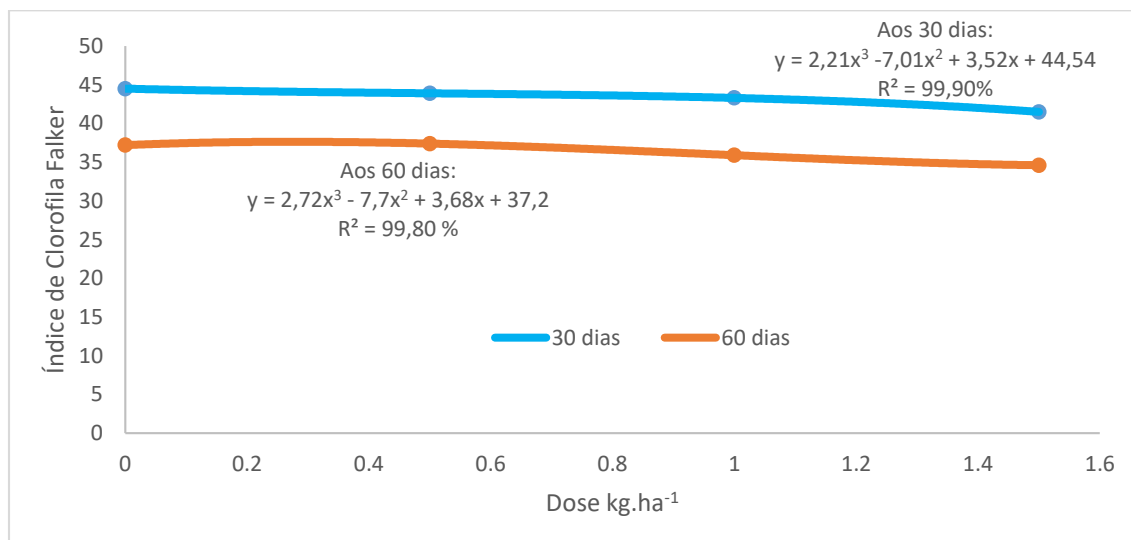
Tabela 25. Efeito do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	38.47 a	39.42 a	35.95 b	35.65 b
<i>Crotalaria spectabilis</i>	37.65 b	37.80 c	37.42 a	36.80 a
Leucena	38.37 a	38.47 b	35.95 b	34.82 c

Controle	34.15 c	33.97 d	34.12 c	30.85 d
----------	---------	---------	---------	---------

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 17. Estimativas do Índice Clorofila Falker (ICF) nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão para polinomial para doses na Figura 17 observa-se as estimativas do Índice Clorofila Falker (ICF) de plantas de feijão semeados aos 30 e 60 dias em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Verifica-se que com aumento da dose diminui os valores do índice ICF havendo alta correlação entre a dose de amicarbazone e o índice ICF nas espécies com os coeficientes de correlação (r) de 0,99 para 30 e 60 dias e a curva de regressão cubica com significância de 1 % de probabilidade pelo Teste F e os coeficientes de determinação (R^2) de 99,9 para 30 e 60 dias. Os índices de Clorofila de Falker para 60 dias são menores que 30 dias.

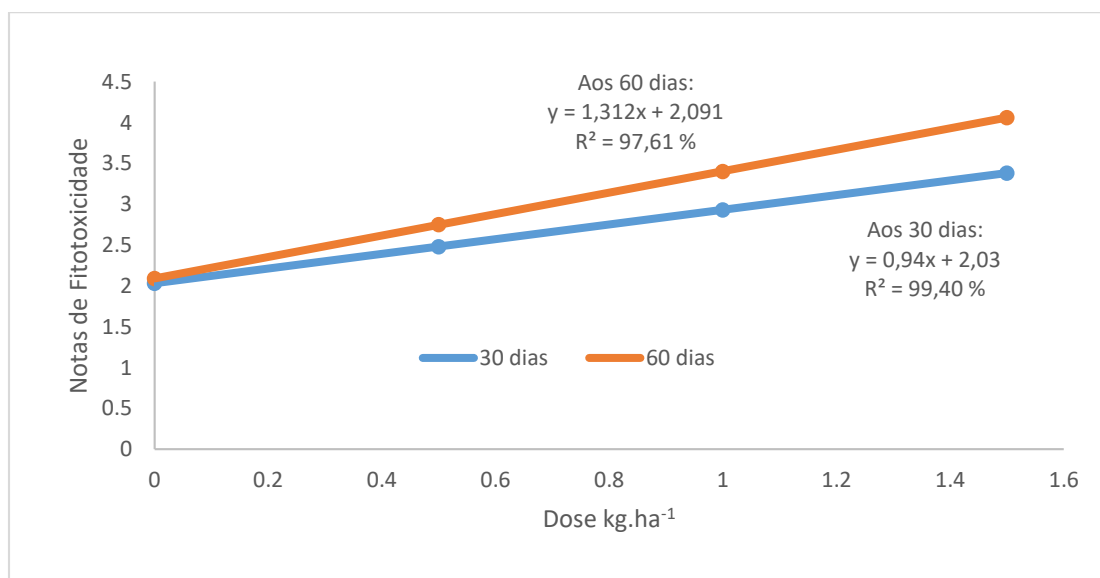
Na Tabela 26 observa-se o comportamento das Notas de Fitotoxicidade de plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Verifica-se que para 30 e 60 dias de sucessão a espécies fitorremediadoras as menores notas de sintomas de fitotoxicidade foram mucuna preta diferindo estatisticamente apenas para controle pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade. Existem herbicidas que afetam a cultura sem detecção visual.

Tabela 26. Média das Notas de Fitotoxicidade nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Tratamentos	30 dias	60 dias
Mucuna preta	2,50b	2,87b
Crotalaria spectabilis	2,62ab	2,87b
Leucena	2,81ab	3,06b
Controle	3,00a	3,51a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 18. Estimativas média das Notas de Fitotoxicidade nas plantas de feijão cultivado aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 18 observa-se as estimativas média das Notas do Sintomas de Fitotoxicidade de plantas de feijão semeados aos 30 e 60 dias

em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Com aumento das doses aumenta os valores das notas do sintomas de fitotoxicidade com alta correlação entre a dose de amicarbazone e as notas nas espécies com o coeficientes de correlação (r) 1,00 para 30 dias e 0,99 para 60 dias. Obtida curva de regressão linear para 30 e 60 dias com significância de 1 % de probabilidade pelo Teste F e os coeficientes de determinação de 99,40 % para 30 dias e 97,61 % para 60 dias.

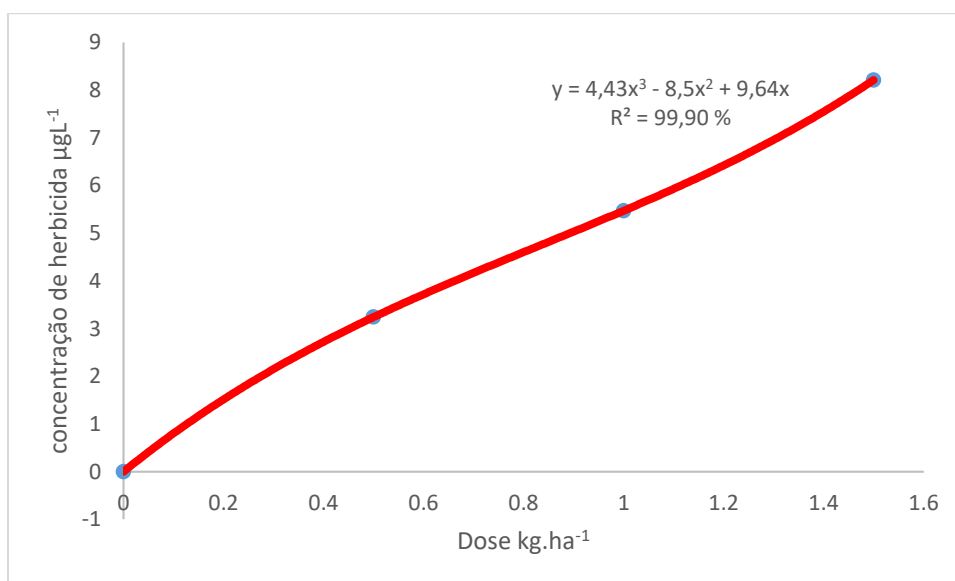
Na Tabela 27 o comportamento da concentração do herbicida no solo com plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Observa-se que os tratamentos apresentaram menores resultados que o controle não diferindo entre si, entretanto, diferiu estatisticamente do controle pelo teste de Tukey no nível de 5 % de probabilidade. Foi realizada busca nas literaturas sobre padrão para este herbicida no solo e na água não foram encontrados. Não sabe-se o mecanismo, entretanto houve uma redução da concentração do herbicida no solo pela espécies demonstrando o efeito potencial fitorremediador.

Tabela 27. Média da concentração do herbicida no solo (μgL^{-1}) com plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Tratamentos	60 dias
Mucuna preta	4,06b
Crotalaria spectabilis	4,00b
Leucena	4,06b
Controle	4,75a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 19. Estimativas da concentração média do herbicida no solo (μgL^{-1}) com plantas de feijão cultivado aos 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 19 estimativa da concentração média do herbicida no solo com plantas de feijão semeados aos 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017. Observa-se alta correlação entre a dose de amicarbazone e as concentrações de herbicidas no solo para as espécies com o coeficientes de correlação (r) foi 0,99 para 60 dias. Obtida curva de regressão cúbica com a significância de 1 % de probabilidade pelo Teste F e os coeficientes de determinação de 99,90 % para 60 dias.

A Tabela 28 apresenta a matéria seca (g.planta⁻¹) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. A matéria seca das folhas de feijão em sucessão a mucuna preta foi superior aos tratamentos testados nas doses de 0,0 a 1,0 kg.ha⁻¹, enquanto na dose de 1,5 kg.ha⁻¹ o controle foi inferior aos demais tratamentos observados, entretanto, a mucuna preta diferiu do controle. Em todas as situações houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. O conceito de matéria seca é simples, contudo de grande impacto percebe-se que com o incremento da dose de amicarbazone houve redução da matéria seca. Deve-se ao fato da redução no conteúdo de clorofila e transferência de elétrons observados anteriormente aos 30 e 60 dias. Também, alta sensibilidade da cultura observada. Em baixa dosagem os resultados das folhas de feijão em sucessão as espécies fitorremediadoras foram superior ao controle, enquanto a partir de 1,0 kg.ha⁻¹ apresentaram espécies com performance igual ao controle corroborando para a

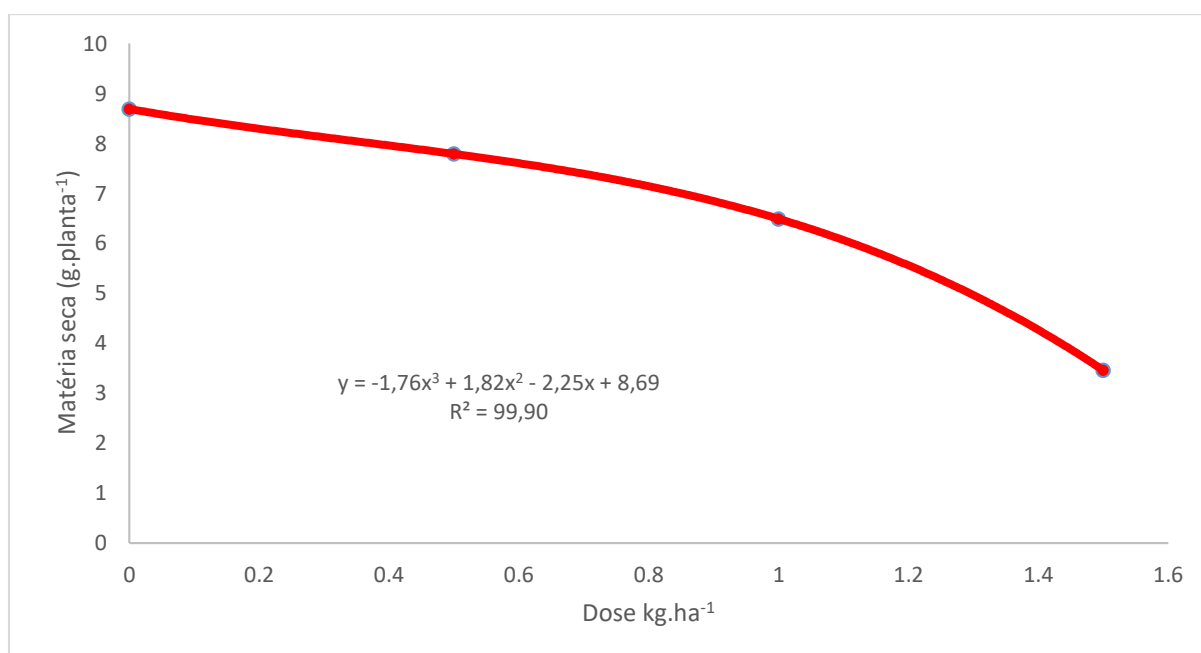
apresentação de espécies com potencial fitorremediador para quem diferiu estatisticamente.

Tabela 28. Matéria seca (g.planta^{-1}) nas plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão em espécies três espécies fitorremediadoras em solo tratado com amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Espécies	Doses (kg.ha^{-1})			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Mucuna preta	10.1 a	9.1 a	7.6 a	4.0 a
Crotalaria spectabilis	8.9 b	7.9 b	6.6 b	3.5 ab
Leucena	8.4 b	7.4 b	6.2 bc	3.3 ab
Controle	7.4 c	6.7 c	5.5 c	3.0 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade.

Figura 20. Estimativas da Matéria seca (g.planta^{-1}) em plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatros doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.



A regressão polinomial para doses na Figura 20 estimativas matéria seca com plantas de feijão cultivados aos 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Observa-se alta correlação entre a dose de amicarbazone e a para as espécies com o coeficientes de correlação (r) foi 0,99. Obtida curva de regressão cúbica com a significância de 1 % de probabilidade pelo Teste F e os coeficientes de determinação de 99,90 %.

Na Tabela 29. Encontra-se as correlações simples entre variáveis observadas nas plantas de feijão semeados aos 30 e 60 dias em sucessão à espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Aos 30 e 60 dias correlação moderada e positiva para ETR X ICF, enquanto moderada negativa para ETR X Conc., Correlação forte e negativa para CLT X Nota, SPAD X Nota, SPAD X Conc., ICF X Nota e ICF X Conc., enquanto correlação forte e positiva para as demais correlações que não foram citadas. Havendo significância para teste t para todos os casos.

Tabela 29. Correlações simples entre variáveis observadas nas plantas de feijão cultivados aos 30 e 60 dias em sucessão à três espécies fitorremediadoras em solo tratado com quatro doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – Al, 2017.

Correlação Simples	30 dias		60 dias	
	r	Teste t	r	Teste t
Clorofila total X ETR	0,96	**	0,81	**
Clorofila total X SPAD	0,82	**	0,99	**
Clorofila total X ICF	0,74	**	0,88	**
Clorofila Total X Nota	-0,98	**	-0,88	**
Clorofila Total X Conc.	-	-	-0,84	**
ETR X SPAD	0,71	**	0,78	**
ETR X ICF	0,61	**	0,68	*
ETR X Nota	-0,96	**	-0,78	**
ETR X Conc.	-	-	-0,61	*

SPAD X ICF	0,99	**	0,82	**
SPAD X Nota	-0,89	**	-0,82	**
SPAD X Conc.	-	-	-0,78	**
ICF X Nota	-0,81	**	-0,98	**
ICF X Conc.	-	-	-0,99	**
Nota X Conc.	-	-	0,96	**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 30 Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se alta correlação para as variáveis que envolve Índice SPAD e Índice de Clorofila Falker; Nota de Fitotoxicidade e ETR. A primeira positivas e a última negativa. As demais são consideradas moderadas com exceção Clorofila total X Taxa de Transferência de elétrons e Clorofila total X Taxa de Transferência de elétrons. As significância encontram-se na tabela 30. A medida de adequação de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) obtida foi 0,81 considerada boa para aplicação da análise multivariada.

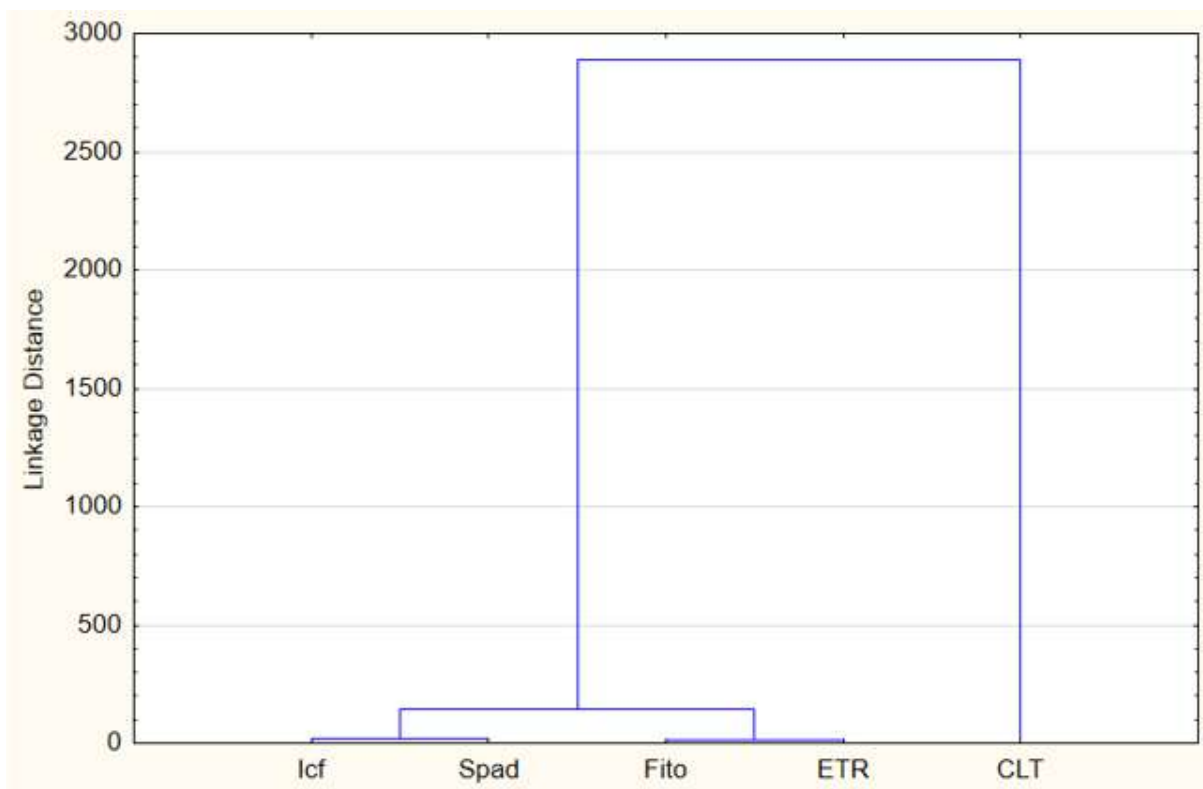
Tabela 30. Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – AL, 2017.

Variável	Matriz de correlação				
	CLT	ETR	SPAD	ICF	Fito
CLT	1	0,3	0,69	0,69	- 0,35
ETR	0,3	1	0,58	0,55	- 0,91
SPAD	0,69	0,58	1	0,99	- 0,69
ICF	0,68	0,55	0,99	1	- 0,67
Fito	- 0,35	- 0,91	- 0,69	- 0,67	1

Obs: CLT: Clorofila total; ETR: Taxa de transferência de elétrons; SPAD: Índice SPAD, ICF: Índice de Clorofila Falker; Fito: Nota de Fitotoxicidade do Herbicida. Número em vermelho: Significância pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Na Figura 21 observa-se o Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se três agrupamentos: o primeiro agrupamento do Índice de Clorofila de Falker com o Índice de SPAD com alta similaridade, o segundo agrupamento Nota de Fitotoxicidade com Taxa de transferência de elétrons com também altíssima similaridade e o primeiro agrupamento com o segundo agrupamento forma o terceiro grupo com a Clorofila Total com baixíssima similaridade.

Figura 21. Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.



Na Tabela 31 Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se a correlação forte e positiva para CLT X SPAD, SPAD X MS, ICF X MS, Fito X Conc., enquanto correlação forte e negativa para ICF X Fito, ICF X Conc., ETR X Fito. Correlação moderada e positiva para CLT X MS, SPAD X ICF e correlação moderada e negativa ETR X Conc., para todos os casos citados houve significância de 5 % de probabilidade para teste t. As variáveis com alta correlação tendem compartilhar o mesmo fator. A medida de adequação de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) obtida foi 0,8 considerada como boa para aplicação da análise multivariada de dados..

Tabela 31. Matriz de correlação dos Componentes Principais das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo – AL, 2017.

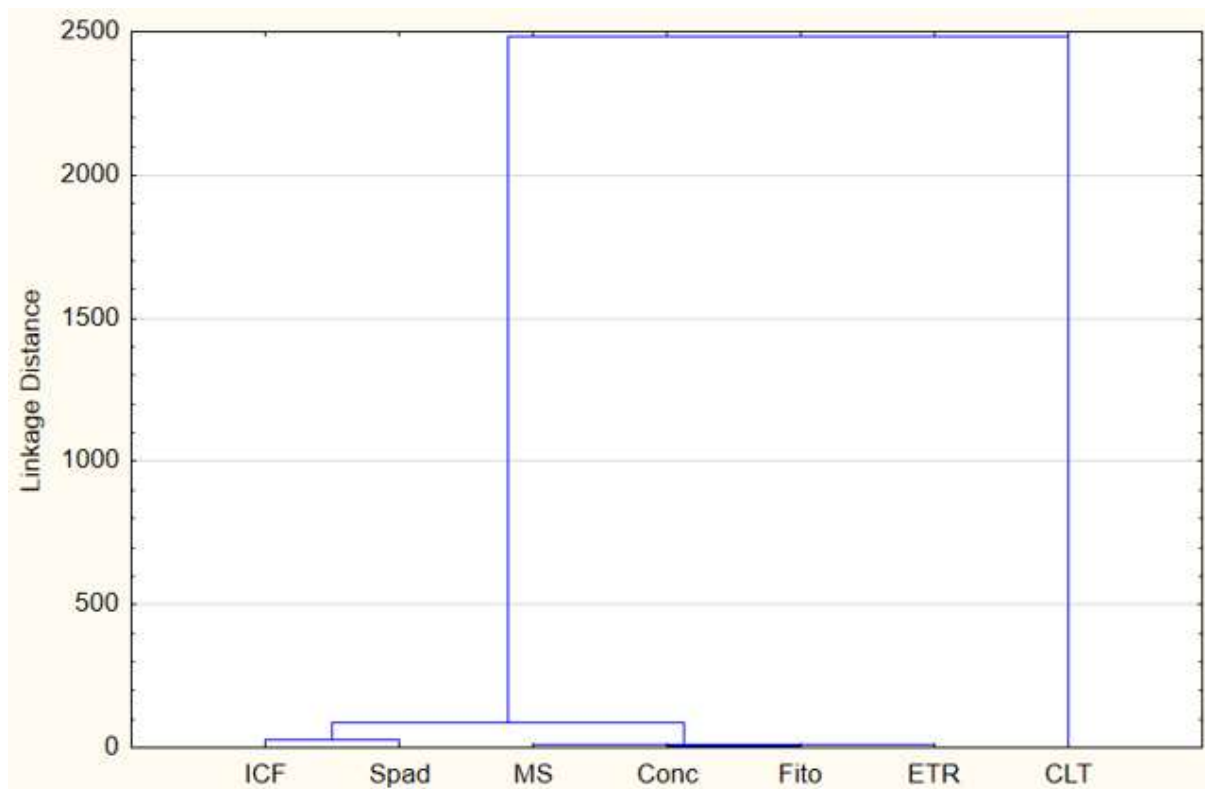
Variável	Matriz de correlação						
	CLT	ETR	SPAD	ICF	Fito	Conc.	MS
CLT	1	0,008	0,71	0,33	- 0,1	- 0,11	0,63
ETR	0,008	1	0,34	0,45	- 0,8	- 0,62	0,33
SPAD	0,71	0,34	1	0,66	- 0,35	- 0,34	0,83
ICF	0,33	0,45	0,66	1	- 0,7	- 0,73	0,72
Fito	- 0,1	- 0,8	- 0,35	- 0,7	1	0,96	- 0,3
Conc.	- 0,11	- 0,62	- 0,33	- 0,73	0,96	1	- 0,25
MS	0,63	0,33	0,83	0,72	- 0,3	0,25	1

Obs: CLT: Clorofila total; ETR: Taxa de transferência de elétrons; SPAD: Índice SPAD, ICF: Índice de Clorofila Falker; Fito: Nota de Fitotoxicidade do Herbicida; Conc.: Concentração de herbicida determinada no solo; MS: Matéria Seca. Número em vermelho: Significância pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Na Figura 22 observa-se o Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de feijão, aos 30 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Observa-se três agrupamentos: o primeiro agrupamento do Índice de Clorofila de Falker com o Índice de SPAD com alta similaridade, o segundo agrupamento Matéria seca, Concentração de herbicida no solo, Nota de Fitotoxicidade e Taxa de transferência de elétrons com também altíssima similaridade e o primeiro agrupamento com o segundo agrupamento forma o terceiro grupo com a Clorofila Total com baixíssima similaridade.

Figura 22. Dendrograma obtido pelo Método de variância mínima utilizando-se como medida de similaridade a Distância Euclidiana das variáveis observadas em folhas de

feijão, aos 60 dias, cultivados em sucessão em espécies potencialmente fitorremediadoras em solos tratados com doses crescentes de amicarbazone. Rio Largo –AL, 2017.



Para 30 dias a Equação de Regressão Multivariada corresponde:

$$\text{Fito} = 5,63 + 0,0001\text{CLT} - 18,07\text{ETR} + 0,0018\text{SPAD} - 0,026\text{ICF} \quad R^2 = 88,13\%$$

Para 60 dias a Equação de Regressão Multivariada corresponde:

$$\text{Fito} = 1,57 - 0,00006\text{CLT} - 9,55\text{ETR} + 0,008\text{SPAD} + 0,009\text{ICF} + 0,6 \text{ Conc} + 0,005 \text{ MS}$$

$$R^2 = 99,89\%$$

5.4 Conclusão:

Os resultados obtidos nas avaliações permitem concluir:

A *Mucuna* preta com potencial para fitorremediação do amicarbazone pelas variáveis observadas, também tem potencial para *Crotalaria spectabilis*;

Observa-se correlações simples entre as variáveis estudadas;

Observa-se correlação matricial entre as variáveis estudadas;

Alta similariedade entre Índice SPAD e Índice Clorofila Falker e Concentração de Herbicida no solo, Fitotoxicidade, Taxa de transferência de elétrons e Matéria seca.

5.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARALDI, R.; GIROTTO, M.; VELINI, E.D.; GOMES, G.L.G.C.; JASPER, S.P.; CARBONARI, C.A.; TRINDADE, M.L.B. Eficiência fotossintética e consumo de água de *Ipomoea triloba* após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, V. 30, N. 3, P. 517-524, 2012.

BARBOSA, J.C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Experimentação Agrônômica & AgroEstat: sistema para análises Estatísticos de ensaios agronômicos**. Jabotical: Gráfica Multipress Ltda, 2015. 396p.

BRUNO, C.L.S.; COSTA, L.H.M.; MONTALLI, M.H.; CARVALHO, J.P.; SILVA, R.A. Plantas de cobertura no sistema de plantio direto. **Rev. Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, V.14, N.1, P. 611-9, 2017.

CARBONARI, C.A.; TRINDADE, M.L.B. Eficiência Fotossintética e consumo de água de *Ipomoea triloba* após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, V. 30, N. 3, P. 517-524, 2012.

CASAGRANDE, F.; CORTIVO, F.A.; CASAGRANDE, L.; FREITAS, R.A.; FERREIRA, A. **Balço Hídrico Climatológico em dois cenários do Nordeste Brasileiro**. 578_91741.pdf. Acesso://www.sbmet.org.br/cbmet2010/ em 06/08/2017.

COUTINHO, P.W.R.; CADORIN, D.A.; NORETO, L.M.; GONÇALVES Jr, A.C. Alternativas de remediação e descontaminação de solos: Biorremediação e Fitorremediação, **Nucleus**, V.12, N.1, P. 59-68, abr, 2015.

FELSEMBURGH, C.A.; TRIBUZY, E.S. Medidor portátil de clorofila: Determinação dos teores de clorofila e nitrogênio em andiroba e cumarú. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, V. 7, N. 2, P. 163-168, abr-jun, 2012.

FILHO, R.V.; CHRISTOFFOLETTI, P.J. **Avaliação da eficácia e seletividade dos herbicidas**. In: SILVA, J.F.; MARTINS, D. Manual de aulas práticas de plantas daninhas. Jaboticabal: Funep, 2013.184p.il.

FREITAS, R.M.O.; DOMBROSKI, J.L.D.; FREIRAS, F.C.L.; NOGUEIRA, N.W.; PINTO, J.R.S. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico no sistemas de

plantio direto e convencional. **Biosci J.**, Uberlandia, v.30, n.2, p. 393-401, mar/abr. 2014.

HAIR JR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TALHAU, R.L. **Análise Multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookmam. 6° ed. 2009. 668p. Il.

JARDIM, I.C.S.F. Extração na fase sólida: Fundamentos teóricos e novas estratégias para preparação da fase sólidas. **Scientia Chromatographica**, V.2, N.1, P.13-25, 2010.

MADALÃO, J.C.; PIRES, F.R.; NASCIMENTO, A.F.; CHAGAS, K.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PROCOPIO, S.O. Fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone em função do tempo de cultivo de *Canavalia ensiformis*. **Revista Agro@mbiente Online**, V. 10, N. 1, P. 36 - 43, jan-mar, 2016.

MATOS, A.K.A **Influência da vinhaça e da palhada de cana-de-açúcar na sorção de herbicidas aplicados em diferentes solos**. Dissertação de Mestrado, Unesp, Botucatu, 2014.70 p

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 643-652, 2011.

MIELKE, M.S.; SCHAFFER, B.; SCHILLING, A.C. Evaluation of reflectance spectrometry indices for estimation of chlorophyll content in leaves of a tropical tree species. **Photosynthetica**, N.50, P. 343-352, 2012.

MELO, L.F. **Quantificação de pigmentos fotossintéticos em tecido vegetal (Análise de Clorofila)**. Rio Largo: CECA. 2016. 6 p

RINGON, J.P.G.; BELTRÃO, N.E.M.; CAPUANI, S. BRITO NETO, J.F.; SILVA, F.V.F. Análise não destrutiva de pigmentos fotossintéticos em folhas de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, V.16, N.3, P.258–261, 2012.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, V.11, N.39, P.3733-3740, 2016.

SILVA, S.; TEODORO, I.; LYRA, G.B.; SOUZA, J.L.; NETO, J.D. Componentes do Kc Dual Padrão Fao-56 para cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. **STAB**, Piracicaba, V.32, N.1, P.40-3, set-out, 2013.

TONIN, J.; MACHADO, J.T.M; ROHRIG, B.; SOBCKI, L.; RICHTER, A.F.; BETEMPS, B.; SCHMITT,O.J.; SCHNEIDER,E.P. Modelos lineares e não lineares para determinação indireta de clorofila em folhas de morangueiro. **Revint**, V.3, N.1, P.216-23, 2015.

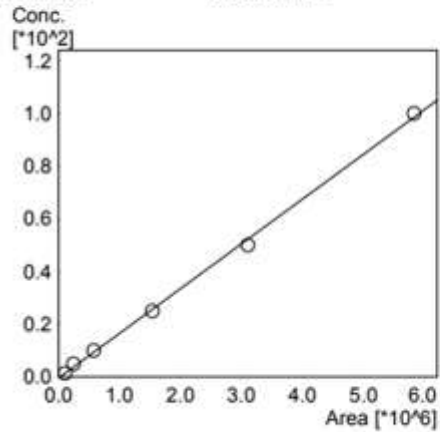
YAMASOE, M.A.; CORREA, M.P. **Processos radiativos nas atmosfera: fundamentos**. São Paulo: Oficina de textos, 2016. 142 p. il.

6. APÊNDICES:

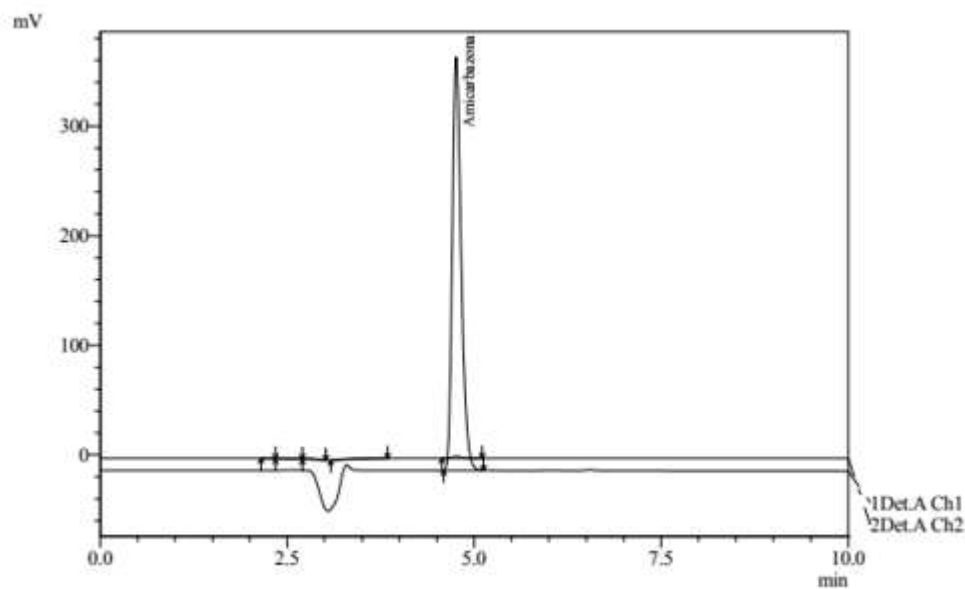
Curva de Calibração do HPLC.

ID# : 1
 Name : Amicarbazona
 Quantitative Method : External Standard
 Function : $f(x)=1.70056e-005*x-0.426222$
 Rr1=0.9993171 Rr2=0.9986346
 MeanRF:1.70108e-005 RFSD:4.41548e-006 RFRSD:25.957

FitType : Linear
 ZeroThrough : Not Through
 WeightedRegression : None
 Detector Name : Detector A



#	Conc (Ratio)	Area	Area
2	1.410	108453.4	108453
		109995.7	109996
		109073.6	109074
3	4.940	146875.0	146875
		295669.8	295670
		297256.2	297256
4	10.000	581378.3	581378
		573292.4	573292
		579479.1	579479
5	25.000	1535924.3	1535924
		1534913.3	1534913
		1540693.1	1540693
6	50.000	3109645.8	3109646
		3092348.5	3092349
		3114683.2	3114683
7	100.000	5802696.8	5802697
		5830854.9	5830855
		5844359.9	5844360



1 Det.A Ch1 / 221nm
 2 Det.A Ch2 / 254nm

Resultados de três amostras:

