



Uso de Resíduo Mineral do processamento do lítio como fertilizante no cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.)

Aline Aparecida Andrade Costa

Mestranda em Biocombustíveis, UFVJM, Brasil.
aline.andrade@ufvjm.edu.br

Alexandre Sylvio Vieira da Costa

Professor Doutor, UFVJM, Brasil.
alexandre.costa@ufvjm.edu.br

Márcia Regina da Costa

Professora Doutora, UFVJM, Brasil.
marcia.costa@ufvjm.edu.br

Abraão José Silva Viana

Doutor, UFVJM, Brasil.
abraao.viana@ufvjm.edu.br

RESUMO

A pesquisa das características e potencialidades de novas fontes de fertilizantes tem se ampliado, mas ainda merecendo esforços de estudo para estabelecer e recomendar métodos agrônômicos. Este projeto teve como objetivo utilizar o resíduo do processamento do lítio como fertilizante na produção de mamona (*Ricinus communis* L.). A pesquisa compreendeu a caracterização química dos resíduos, desenvolvimento das plantas de mamona quanto a avaliações de peso fresco e seco das raízes, caule, folhas, frutos, altura das plantas, diâmetro e altura da planta, produção de frutos e sementes, determinação do teor de óleo ao diâmetro e altura, e análise foliar após a colheita feita aos 180 dias. Experimento em casa de vegetação na UFVJM de Diamantina, MG, utilizando delineamento de blocos casualizados (DBC), esquema fatorial de 2x7, quatro repetições. 1º tratamento composto de com e sem aplicação de 10% do total aplicado de Silicato de Alumínio em Finos do Forno Calcinador (0, 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0t/ha) + 50% de adubação convencional. 2º tratamento: sete doses de Silicato de Alumínio (0, 1, 2, 4, 6, 8 e 10t/ha). Na análise do solo houve maior aumento dos teores de K, P e CTC efetiva do Ca e K utilizando o 1º tratamento. No desenvolvimento e produção de óleo de mamona, o 1º tratamento com as dosagens 8 e 10 t/ha + 1,0 t/ha + 50% de adubação apresentaram maior desenvolvimento nas análises fitotécnicas e teor de óleo. A dosagem 0 t/ha do 2º tratamento teve o menor desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilizante; Lítio; Meio ambiente; *Ricinus communis* L.; Resíduos industriais.

1 INTRODUÇÃO

Conforme a espécie humana avança na exploração do meio ambiente, para atender o crescimento populacional e suas demandas, ocorrem divergências quanto ao uso dos recursos e do espaço. Entre 2010 e 2022 um registro mostra que houve crescimento da população brasileira de 6,5% (IBGE, 2023).

A exploração dos recursos naturais no Brasil teve início com a chegada dos colonizadores portugueses no século XVI. O pau-brasil foi uma das primeiras commodities exploradas, seguida pela mineração de ouro e diamantes nas regiões de Minas Gerais e outras áreas. - Século X (GOMES, 2021).

A partir da intensificação da exploração dos recursos naturais foram obtidas diferentes características, tanto com as revoluções industriais quanto o aumento da tecnologia, juntamente com o comércio mundial que altera tanto a matéria-prima até os produtos mais sofisticados em demandas mundiais.

Essa questão mundial dos recursos naturais resulta do fundamento da produção e o consumo em larga escala. O processo de exploração do meio ambiente é atualmente o responsável por boa parte dos problemas ambientais (Brasil, 2001, p. 173).

Um dos maiores problemas ambientais da atualidade encontra-se nas atividades industriais e minerais, principalmente na geração de resíduos descartados diretamente em sistemas naturais e com grande potencial poluidor do solo, águas subterrâneas e superficiais a longo prazo. Mesmo com as novas tecnologias desenvolvidas, em muitos casos, torna-se praticamente impossível a eliminação da capacidade poluidora de alguns resíduos mesmo adequando o seu manejo, a reciclagem e a reutilização de forma harmoniosa com o meio ambiente.

O aproveitamento de resíduos no meio agropecuário pode ser utilizado como alternativa de fertilizante no uso de solos pobres em nutrientes e auxílio na diminuição do risco no meio ambiente, sendo estes subprodutos necessidade de avaliação de seu desempenho

agronômico. O avanço nas pesquisas fornece soluções para as dificuldades ambientais relacionados à mineração de rochas, como para gerar alternativas mais limpa para a fertilização do solo (DALMORA; *et al.*, 2020).

A economia atual do Brasil torna-se cada vez mais onerosa para o produtor rural a obtenção de insumos agropecuários, nos anos recentes o país sofreu crescente aumento nas importações de fertilizantes, em 2021, a importação de fertilizantes totalizou 39.258.338 toneladas, volume 12% superior ao volume registrado no ano de 2020 (ANDA, 2022).

Nos próximos anos, o Brasil corresponderá a 50% da produção de alimentos no mundo, sendo preocupante a necessidade e aumento de demanda por fertilizantes. O país é o quarto consumidor mundial de adubos, correspondendo a 8% desse volume. Devido à alta de preço dos fertilizantes, ocorre um impacto negativo nas exportações da balança comercial Brasileira (MAPA, 2022).

Desta forma, a utilização de fontes alternativas de resíduos industriais e dos processos de mineração que apresentam características de corretivo, condicionador do solo e de fertilizantes, depositados em pátios, aterros e até mesmo a céu aberto podem ser uma alternativa, não apenas visando a eliminação do passivo ambiental da indústria e da mineração, mas também a redução dos custos de produção da agropecuária que beneficiaria toda a cadeia, do produtor ao consumidor.

O estudo apurado dos parâmetros físicos e químicos dos resíduos das empresas de mineração é fundamental para nortear um manejo adequado da aplicação deste resíduo no solo objetivando o uso sustentável da área, reduzindo os riscos de contaminação do solo e dos recursos hídricos. A caracterização do material nos permite conhecer o seu potencial agrícola, prevendo seus efeitos nas características físicas, químicas e biológicas do solo assim como a nutrição das plantas. Neste estudo, a mineralogia da fração argila e a textura do solo são fundamentais na avaliação da dinâmica dos nutrientes (Pinheiro, 2002; Oliveira, 2004; Silva, 2004; Matos *et al.*, 1994).

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma planta que pertence a família Euphorbiaceae, sendo considerada como uma planta tóxica, originária da Etiópia se espalhando pelo Oriente Médio, Índia e China. Os principais países produtores de mamona são a Índia, Moçambique, China, Brasil, Mianmar e Etiópia, correspondendo a 97% do cultivo mundial de mamona. A *Ricinus communis* L. possui grande potencial de uso diferentes áreas de uso, porém o óleo da planta corresponde a maioria do uso dessa cultura (ERGUN, 2022).

As propriedades presentes no óleo de mamona são vistas como alternativa para a produção de biodiesel, um biocombustível de fonte renovável e ambientalmente certo (MENDES; *et al.*, 2020).

Devido ao potencial do uso do óleo da mamona em forma de biocombustível o cultivo tem aumentado, porém a produção ainda é baixa quando se compara à outras oleaginosas. Portanto, se faz necessário novas pesquisas com diferentes formas de produção atrelado a o uso de subprodutos advindos da exploração mineral, como forma de reaproveitamento e utilização de fontes renováveis para benefício do meio ambiente.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo utilizar o rejeito da exploração mineral e processamento do lítio como condicionador-fertilizante no cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) e como forma de aproveitamento de subprodutos da mineração na agricultura.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido durante os meses de abril a outubro de 2022, em casa de vegetação do Departamento de Agronomia – DAG/UFVJM, em Diamantina – MG, no Campus da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, localizada no município de Diamantina, Minas Gerais, Rodovia MGT 367 – Km 583, nº 5000 – Alto da Jacuba.

Sob coordenadas geográficas longitude 43° 36' W, latitude 18° 15' S, 1296 m de altitude. O clima local é caracterizado como tropical, com estação seca de inverno (Aw), e período seco de abril a setembro (KÖPPEN e GEIGER, 1928).

3.2 Aquisição dos materiais

O experimento foi realizado utilizando 2 tipos de resíduos gerados do processamento de Lítio da Companhia Brasileira de Lítio localizada na cidade de Divisa Alegre em Minas Gerais, sob coordenadas geográficas longitude 41° 20' W, latitude 15° 43' S. Os resíduos foram coletados nas áreas de descarte da empresa, ensacados e transportados para o Campus da UFVJM, localizado em Diamantina-MG, para realização dos experimentos de solos e desenvolvimento vegetal. No laboratório os materiais foram secados a sombra, destorroados e peneirados em peneiras de malha 0,2 mm para homogeneização de suas partículas.

Esses dois materiais foram denominados de Resíduo 1: Silicato de Alumínio e Resíduo 2: Finos do Forno Calcinador.

3.3 Preparo do solo e resíduos

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 2x7, com quatro repetições. Sendo 2 tipos de fertilizantes e 7 doses: o primeiro fertilizante foi composto de sete diferentes tipos doses de Silicato de Alumínio (0, 1, 2, 4, 6, 8 e 10t/ha) e o segundo fertilizante foi composto de com e sem a aplicação de 10% do total aplicado de Silicato de Alumínio em Finos do Forno Calcinador (0, 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0t/ha) associado a metade da recomendação de adubação convencional. Essa aplicação e distribuição de tratamentos em t/ha foram feitos de forma empírica uma vez que não se tem registro de utilização de rejeito de lítio como fertilizantes na literatura.

Para o cálculo das recomendações de fertilizante convencional para a cultura da mamona, a mesma foi realizada de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999). Foram aplicados 0,183g de Superfosfato Triplo e 0,127 g de Cloreto de Potássio. Para adubação de cobertura foram utilizados 0,500 g de Sulfato de Amônia.

No cálculo para aplicação dos resíduos foi realizado utilizando a proporcionalidade de volume do solo de um hectare na profundidade de 10 centímetros, correspondendo a 1.000 m³ de solo em relação ao volume do solo do vaso (5,0 litros). O mesmo foi realizado para a aplicação dos fertilizantes convencionais.

Foram utilizados vasos com capacidade de 5 litros, sendo que os blocos foram compostos por 28 vasos cada, com 2 plantas de mamona, totalizando 112 vasos.

Os dados obtidos das análises fitotécnicas foram analisadas por regressão, e as análises químicas e análise elementar foram analisados por meio da técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) e pelo do Programa estatístico SISVAR versão 5.6, os quais foram submetidos à análise de variância pelo teste T e a comparação de médias pelo de Teste de Tukey a 5% de significância.

3.4 Montagem do experimento

Após a pesagem dos materiais (Resíduo Silicato de Alumínio e Resíduo Finos do Forno Calcinador), e o preenchimento dos vasos com solo os mesmos foram aplicados individualmente nos solos dos vasos e misturados em sacos plásticos para uniformização dos materiais com o solo. Em seguida os solos retornaram aos vasos sendo irrigados visando iniciar o processo de reação. Neste experimento foi realizado o plantio da mamona (*Ricinus communis* L.), uma planta da família das Euphorbiaceas e produtora de óleo.

Foram semeadas quatro sementes por vaso e após o início da germinação, foi realizado desbaste mantendo-se duas plantas por vaso. Realizou-se adubação nitrogenada de cobertura em todos os vasos, vinte dias após a germinação das sementes. Durante o processo de condução do experimento, os vasos inicialmente foram irrigados a cada dois dias com auxílio de um Becker de 500ml, a irrigação foi feita aplicando 200ml de água por vaso, no decorrer do crescimento as regas foram se tornando espaçadas em 3 em 3 dias para que não ocorresse estresse hídrico.

3.5 Análise utilizando a técnica de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDXRF)

A técnica de EDXRF foi realizada no Laboratório Multiusuário – LIPEMVALE, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Diamantina – MG com a finalidade de obter os elementos químicos presentes nos resíduos gerados da extração do lítio e utilizados como fertilizantes neste trabalho. O equipamento utilizado neste procedimento foi o Espectrômetro de Fluorescência de Raios X, modelo EDX 720 (Shimadzu).

Na análise realizada neste trabalho utilizou-se apenas ar atmosférico, restringindo a detecção dos metais compreendidos entre Al¹³ e U⁹². O software utilizado foi o PCEDX, versão 1.11 Shimadzu. Foram realizadas análises de EDXRF com amostras dos dois resíduos utilizados (Silicato de Alumínio e Finos do Forno Calcinador) em que os materiais foram acondicionados em porta-amostras confeccionadas com filme de polipropileno e as condições de análise foram as seguintes: colimador de 10 mm, varreduras com tensões de 0-40 KeV (Ti-U) e 0-20 KeV (Na-Sc) com tempo de 100 seg. cada

O material analisado foi atingido com um feixe de Raios X que interagiu com os átomos da amostra provocando a ionização das camadas mais internas dos átomos. O preenchimento

das vacâncias resultantes, por elétrons mais periféricos, induziu a emissão de raios X característicos dos elementos constituintes da amostra.

3.6 Análises fitotécnicas

As avaliações foram feitas após 180 dias do plantio das sementes. As plantas de *Ricinus communis* L. foram colhidas, separadas em raiz, caule, folha e fruto. A caracterização agrônômica da altura foi iniciada após o plantio e realizada durante todo o desenvolvimento das plantas. A determinação da altura das plantas foi realizada com o auxílio de uma régua de 60 cm e seu diâmetro foi medido com um paquímetro digital na porção inicial do caule.

Após a pesagem e mensuração do peso verde, as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel kraft, identificadas e, em seguida, desidratadas em estufa a 65° C até atingir peso constante. Através da balança digital de precisão foi realizada a determinação do peso da massa fresca total (MFT) e massa seca total (MST), em g.planta⁻¹. Amostras das sementes foram coletadas para determinação de teor de óleo e produção total por plantas.

3.7 Análises químicas do solo e foliar

3.7.1 Análise do solo

Após o desmonte do experimento, amostras de solo foram coletadas de cada vaso para realização das análises químicas. As amostras foram levadas para o Laboratório Multiusuário – LIPEMVALE, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Diamantina – MG, onde foram secadas e peneiradas. As análises químicas do solo foram determinadas utilizando métodos padrão (EMBRAPA 1997). Para extração do fósforo, potássio, e micronutrientes foi utilizado o extrator com solução de Mehlich-1, enquanto que para Cálcio, Magnésio e Alumínio trocáveis foram extraídos com solução 1 mol L⁻¹ de KCl.

O fósforo foi determinado colorimetricamente através de espectrofotometria, e todos os outros nutrientes foram determinados por espectroscopia de absorção atômica (MORAES e RABELO, 1986). Para determinação de Al trocável foi utilizado o método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio, após a extração do Al³⁺ do solo por KCl 1 mol L⁻¹.

Para determinação de pH medido em água, foi feita a mistura de 10 cm³ de solo com 50 ml de água, agitado e medido o pH com um eletrodo tocando no fundo do frasco. A determinação do pH SMP foi feita com a adição da solução-tampão após determinação do pH do solo, sendo a leitura feita no sobrenadante, de modo que o bulbo do eletrodo toque ligeiramente o solo sedimentado no fundo do frasco.

3.7.2 Análise química foliar

O material vegetal (raízes, caule e folhas) foi identificado e levado para o Laboratório Multiusuário – LIPEMVALE, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Diamantina – MG, onde foi secado em estufa a 65 C° até adquirir peso constante. Após

a secagem do material, o mesmo foi triturado em moinho, e retirado amostras homogêneas de 0,500 g. Essas amostras foram digeridas com ácido nítrico (HNO₃) em sistema fechado utilizando frascos de PFA com controle de temperatura e potência da radiação micro-ondas. O fósforo foi determinado colorimetricamente através de espectrofotometria e os outros nutrientes foram determinados por espectroscopia de absorção atômica (MORAES e RABELO 1986).

3.8 Análise utilizando a técnica de Analisador Elementar

A técnica do Analisador Elementar LECO® CHNS/O, modelo TruSpec Micro, foi realizada no Laboratório Multiusuário – LIPEMVALE, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Diamantina – MG com a finalidade de quantificar os elementos presentes nas plantas de mamona. Para obtenção dessas análises as partes das plantas (raízes, caules e folhas) foram trituradas em moinho e peneiradas em peneira de malha fina de 0,2 mm e pesadas em micro-cápsulas. Em seguida as cápsulas foram acopladas ao carrossel do equipamento onde são incineradas a 1075 °C em tubo de quartzo para os elementos Nitrogênio, Proteína, Carbono, Hidrogênio, onde os gases gerados são quantificados em detector de infravermelho.

3.9 Teor de óleo das sementes

A determinação do teor de óleo em sementes de mamona foi realizada no laboratório Tecnologia Biomassa Cerrado – LTBC da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Diamantina – MG, por meio da extração química por solvente orgânico, pelo método Soxhlet com Éter Etílico, com base nos procedimentos definidos pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995). As amostras de sementes foram trituradas em almofariz e colocadas em cartuchos porosos. Os cartuchos foram colocados na câmara de extração que fica suspensa acima do balão volumétrico que contém o solvente, e abaixo de um condensador. O balão é aquecido e evapora o solvente que se move na fase gasosa em direção ao condensador, o qual é convertido em um líquido que goteja no cartucho que contém a amostra. A extração durou em média quatro horas.

O teor de óleo foi determinado pela relação gravimétrica percentual entre óleo obtido e sementes submetidas à extração (BALIZA *et al.*, 2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos Resíduos

Com a realização das análises pelo Espectrofotômetro de Raios-X, foi possível identificar a presença de minerais em ambos os resíduos (Tabela 1), e também os maiores percentuais de minerais presentes no material (Tabela 1). No resíduo denominado Silicato de Alumínio foram encontrados em maiores proporções Si (47,65%), Al (33,10%), K (7,28%) e Fe (5,83%). Enquanto que no resíduo denominado Finos do Forno Calcinador foram encontrados Si (43,44%), Al (31,27%), Ca (14,95%) e S (7,64%).

A presença dos macronutrientes P, K, Ca, S e dos micronutrientes Fe, Mn, Zn (Tabela 1), é necessário para suprir as demandas nutricionais das culturas agrícolas podendo influenciar em todas as etapas do ciclo de culturas. Um estudo feito por (Dalmora *et al.*, 2020) em Triunfo - RS, Brasil, mostrou a análise do subproduto de rocha vulcânica (rocha vesicular andesítica) e experimento em campo como potencial fertilizante. Foi avaliada a presença de Si, Al, Ca, P, K, entre outros identificados como um possível recurso de micro e macronutrientes para a produção agrícola e redução de impactos ambientais.

Tabela 1 - Principais minerais encontrados na análise do espectrômetro de fluorescência de raios-X

Silicato de Alumínio		Finos do Forno Calcinador	
Minerais	%	Minerais	%
Si	47,65	Si	43,44
Al	33,10	Al	31,27
K	7,28	Ca	14,95
Fe	5,83	S	7,64
Ca	2,93	Fe	1,90
S	1,01	K	0,45
P	0,90	Mn	0,24
Ti	0,47	Sr	0,06
Mn	0,36	Rb	0,03
Rb	0,20	Ga	0,02

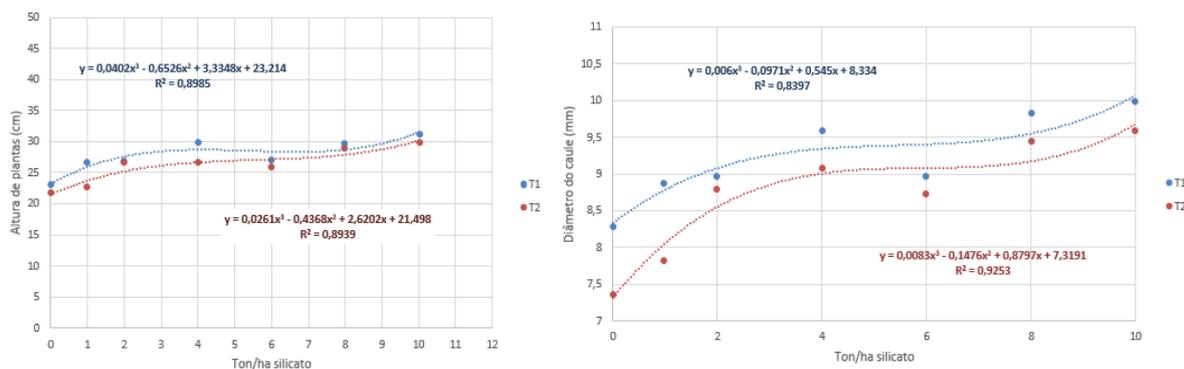
Fonte: Autores, 2022.

4.2 Análises fitotécnicas

Diferenças significativas foram observadas nos parâmetros de altura da planta e diâmetro (Figura 1), demonstrando que quanto maior a quantidade de dosagem do resíduo de silicato e finos do forno calcinador, maior foi o desenvolvimento das plantas em ambos tratamentos.

O 1º tratamento utilizando doses de resíduo de silicato de alumínio + finos do forno calcinador + 50% da adubação convencional obtiveram médias superiores ao cultivo do 2º tratamento que foi utilizado somente resíduo de silicato de alumínio. O aumento destes parâmetros nos tratamentos primeiramente pode estar relacionado ao aumento nas dosagens, já que as plantas obtiveram crescimento linear.

Figura 1 – Gráfico de Altura de Plantas; Diâmetro do caule (Duas plantas – 180 dias)

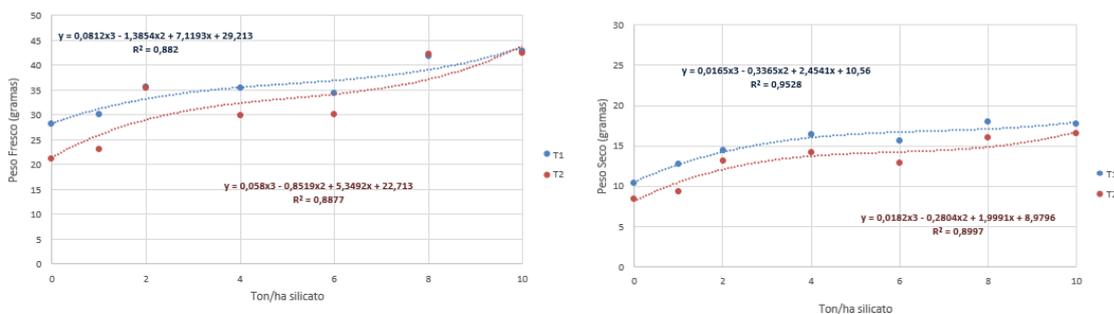


Fonte: Autores, 2022.

Em função das dosagens crescentes de Resíduos aplicadas ao solo, tanto nas MFT quanto nas MST (Figura 2) é possível observar de acordo com o coeficiente das equações ajustadas que as plantas apresentaram tendência de comportamento semelhante.

Com relação a maior quantidade de Massa Fresca e Seca é possível observar que os Tratamentos de 8 e 10 toneladas de Resíduos de Silicatos demonstraram maiores crescimentos. Houve a ocorrência de maior rendimento de matéria fresca e seca nos tratamentos utilizando 8 e 10 ton/ha de Resíduo de silicato + finos de forno + 50% da adubação convencional (Figura 2). Este resultado provavelmente pode ter ocorrido devido a interações adversas entre o excesso de P e K e outros nutrientes existentes nos resíduos utilizados, onde isto se confirma pela análise do aumento dos nutrientes na tabela do anexo A (CARVALHO *et al.*, 2018).

Figura 2 – Gráfico Massa Fresca Total (MFT); Massa Seca Total (MST) – Duas plantas (fruto, caule, raiz e folha)



Fonte: Autores, 2022.

Resultados encontrado por Ramos *et al.*, (2019), em que fizeram um estudo sobre a potencial fertilizante possuindo Ca, Mg, K e P em resíduos da rocha dacita, e testando o cultivo de milho e aveia preta durante 70 dias cada, com diferentes doses de resíduo, mostraram que o K disponível pelo resíduo estava disponível para as plantas.

De acordo com SOARES, 2006 são poucas as vezes em que é observado o aumento de produtividade como resultado da aplicação de potássio nas pesquisas feitas tanto no Brasil como em outros países. Possivelmente, a mamoneira precisa de níveis baixos desse elemento para o funcionamento normal de sua fisiologia e tenha grande capacidade de absorver esse nutriente do solo, de acordo com a análise de solo.

4.3 Análises químicas do solo e foliar

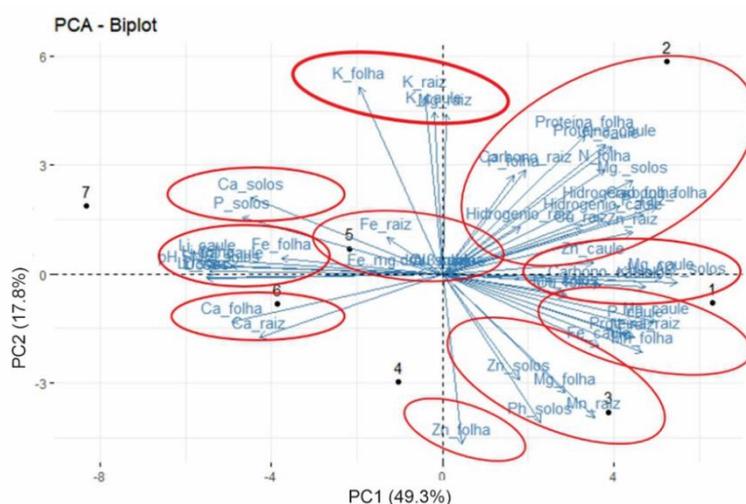
Para avaliar o efeito dos tratamentos nos atributos químicos, utilizou-se a multivariada de Análise de Componentes Principais (PCA), considerando os dados padronizados.

A PC1 (figura 3) contribuiu com até 49,3% da variância total e a PC2 contribuiu com até 17,9% da variância total. As diferenças entre os tratamentos foram controladas principalmente pelo PC1. Os tratamentos com as dosagens de 1 e 2 t/ha de Resíduo de Silicato associado a 0,1

e 02 t/ha de finos de forno com 50% de adubação convencional tiveram melhor interferência e alteração dos componentes analisados.

No primeiro tratamento apesar dos resultados da PCA demonstrarem maior interferência da adubação nas dosagens 2(1t/ha) e 3 (2t/ha) (figura 3) não significa que foram as melhores dosagens do 1º tratamento, uma vez que essas duas dosagens não obtiveram maiores crescimentos (figura 2) e teor de óleo (figura 5). A dosagem 7 (10 t/ha) apontou que houve interferência com relação ao Ca e P, demonstrando que o aumento desses nutrientes auxiliou o aumento de sua produtividade (figura 5) e conseqüentemente perda das reservas dos demais nutrientes ocasionando em menores reservas no solo e na parte aérea.

Figura 3 – Mapa de pontuação da análise de componentes principais (PCA) de elementos químicos sob diferentes aplicações combinadas de Resíduo de silicato+ finos de forno + 50% de adubação convencional

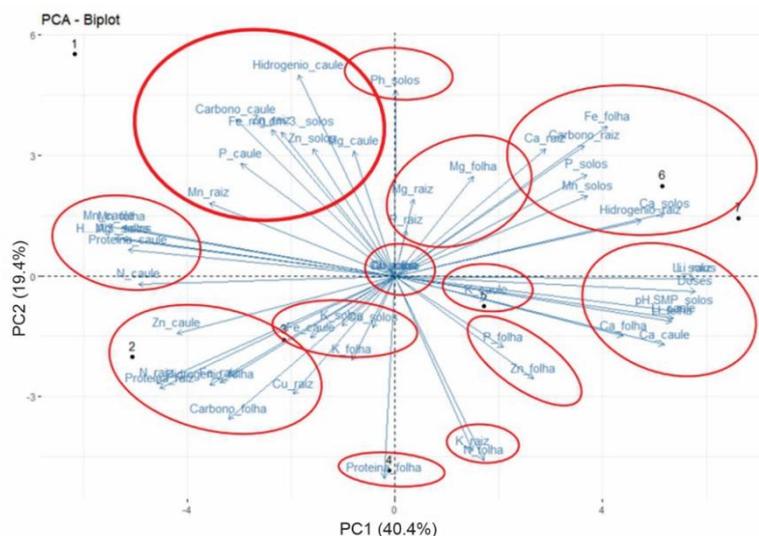


Fonte: Autores, 2022.

O resultado da pesquisa demonstrou que o elemento K e Ca sofreram alterações, porém não sendo de um tratamento específico, isso pode precisar ser ajustado e otimizado de acordo com a dosagem utilizada para alcançar alta qualidade e altos rendimentos.

Nos dois tratamentos foram encontrados o nutriente K. O potássio (K) é um mineral necessário e importante, pois contribui para o aumento da produtividade de diversas culturas (CARVALHO *et al.*, 2018). A presença dos macronutrientes (P, K, Ca, S) e dos micronutrientes (Fe, Mn, Zn), demonstra que os minerais presentes nos resíduos (Tabela 1) se tornou disponível para a mamona influenciando no seu desenvolvimento.

Figura 4 - Mapa de pontuação da análise de componentes principais (PCA) de elementos químicos sob diferentes aplicações de Resíduo de silicato.



Fonte: Autores, 2022.

A PC1 (Figura 4) contribuiu com até 40,4% da variância total e a PC2 contribuiu com até 19,4% da variância total. As diferenças entre os tratamentos foram controladas principalmente pelo PC1. Os resultados da PCA mostraram que no 2º tratamento, as dosagens 1(0 t/ha) e 2 (1 t/ha) mais se sobressaíram com relação as outras dosagens (Figura 4).

As dosagens 6 e 7 não tiveram maiores interferências entre eles e também não houve maior produção de frutos (Figura 5). Demonstrando que somente a utilização dos resíduos de silicato não aumentam a produtividade.

A dosagem 1 (0 t/ha), teve como elementos que tiveram maior interferência Carbono (caule), Hidrogênio (caule), Zn (raiz), Zn (solo) Mg (caule), Mn (raiz), P (caule). O resultado da pesquisa demonstrou que os elementos como Zn (caule), Cu (raíz), Carbono (folha), Proteína (raíz), Fe (raíz), N (raíz), sofreram alterações na dosagem 2, o que demonstra a necessidade de ajuste para sua utilização como possível fertilizante.

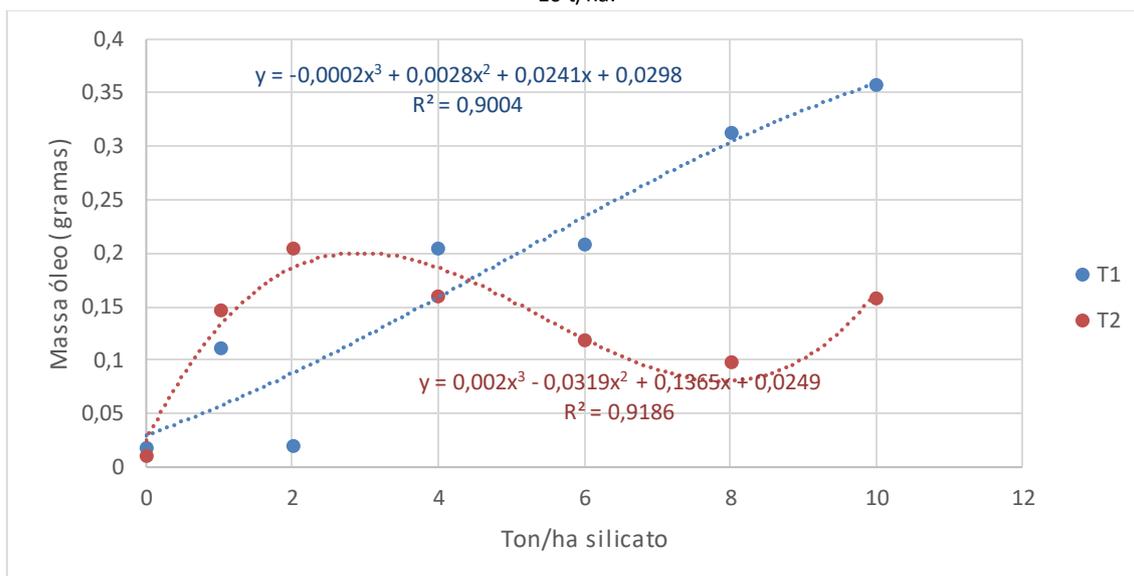
Com base nos dados apresentados neste trabalho, podemos concluir que o uso desses resíduos como fertilizante podem trazer benefícios significativos para a produção de mamona. Além disso, o uso do resíduo como fertilizante pode contribuir para a redução do impacto ambiental na produção de mamona (FERREIRA *et al.*, 2013).

4.4 Teor de óleo

O teor de óleo das sementes de mamona variou entre os tratamentos estudados, conforme dados apresentados no resumo da análise do gráfico (Figura 5). Moreira *et al.*, (2008), constataram alta variabilidade em peso e conteúdo de óleo em cultivares de mamona corroborando com resultados encontrados neste estudo.

As médias do teor de óleo das sementes por tratamentos demonstraram que os maiores de teores de óleo de mamona ocorreram nos tratamentos 6, 8 e 10 ton/ha de silicato de alumínio com finos do forno calcinador e com metade da adubação convencional (Figura 5).

Figura 5 - Teor de óleo das sementes de mamona (média de duas plantas) coletadas aos 180 dias após a semeadura em solos em comparação dos tratamentos: Tratamento 1(T1): Resíduo de silicato + finos do forno calcinador + 50% da adubação convencional nas dosagens de 0, 1, 2, 4, 6, 8 e 10 t/ha de Resíduo de Silicato + 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 0,1 t/ha finos de forno + 50% de convencional; Tratamento 2(T2): Resíduo de silicato nas dosagens 0, 1, 2, 4, 6, 8 e 10 t/ha.



Fonte: Autores, 2022.

Segundo Oliveira (2004), é necessário que haja disponibilidade de teores de macro N, P, K, Ca, Mg e S e micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn adequados para a época do florescimento da mamona, tal fato justifica os maiores teores de óleo por tratamentos nas maiores dosagens dos resíduos de silicato e finos de forno calcinador.

Segundo Beltrão (2003) o teor médio de óleo bruto para a mamona varia de 35% a 55%. Dessa forma, a média do teor de óleo das plantas de mamona que produziram sementes do 1º tratamento nas dosagens 8 e 10 (Figura 5) se assemelham aos encontrados na literatura demonstrando a viabilidade da utilização desses resíduos como fertilizantes.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se deste trabalho, que *Ricinus communis* L. apresentou diferentes respostas quanto aos tratamentos a que foi submetida. O cultivo com as maiores dosagens do 1º tratamento (resíduo de silicato + resíduos de finos de autoforno + 50% da dose de fertilizante convencional recomendada) obteve melhores resultados. Os resultados encontrados neste trabalho mostram que as plantas de mamona quando cultivadas com as dosagens 8 e 10 ton/ha de silicato residual, com aplicação de finos de autoforno associado a fertilização química parcial (50% da dose recomendada), influenciaram de maneira positiva tanto em crescimento quanto produção de óleo. Os resultados da análise fitotécnica indicaram que a utilização do

condicionador-fertilizante promoveu um aumento significativo no peso fresco e seco da mamona, bem como na altura das plantas e no diâmetro do caule na base do coleto.

No desenvolvimento e produção de óleo de mamona, o 1º tratamento com as dosagens 8 e 10 t/ha + 1,0 t/ha + 50% de adubação apresentaram maior desenvolvimento nas análises fitotécnicas e teor de óleo. A dosagem 0 t/ha do 2º tratamento teve o menor desenvolvimento. A determinação do teor e rendimento do óleo produzido pelas plantas cultivadas nas dosagens 8 e 10 do tratamento 1 (resíduo de silicato + resíduos de finos de autoforno + 50% da dose de fertilizante convencional recomendada) se assemelham aos encontrados na literatura demonstrando a viabilidade da utilização desses resíduos como fertilizantes. Por fim, a utilização do rejeito da exploração mineral e processamento do lítio como condicionador-fertilizante no cultivo da mamona apresenta um potencial promissor para aumentar o rendimento e qualidade das plantas, além de contribuir para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado desse resíduo. No entanto, mais estudos são necessários para avaliar a viabilidade econômica da utilização desse condicionador-fertilizante em larga escala.

6 REFERÊNCIAS

ANDA. PRINCIPAIS INDICADORES DO SETOR DE FERTILIZANTES. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2023/01/Principais_Indicadores_2022.pdf Acesso em: 20 nov. 2022.

Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16 ed. Washington: **AOAC**, 1995. 2v.

BALIZA, D. P. et al. Extração do óleo fixo da torta oriunda da extração industrial de sementes de mamona (*Ricinus Communis*) cultivar guarani. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS VEGETAIS E BIODIESEL, 2004, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2004.

BELTRÃO, N. E. M.; et al. **Mamona: árvore do conhecimento e sistemas de produção para o Semi-Árido Brasileiro**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2003. 19p. (EMBRAPACNPA. Circular técnica, 70).

BRASIL. **PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS - PCN: Meio Ambiente e Saúde. Ministério da Educação**. Secretaria da Educação Fundamental. 3a. ed. Brasília, 2001. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/meioambiente.pdf> Acesso em: 11 nov. 2022.

Carvalho, MD, Nascente, AS, Ferreira, GB, Mutadiua, CA, Denardin, JE, 2018. Phosphorus and potassium fertilization increase common bean grain yield in Mozambique. **Rev. Brás. Eng. Agrícola Ambiente**. 22, 308e314.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. **Viçosa: Ed. UFV**, 1999. 359 p.

DALMORA, A. C.; RAMOS, C. G.; OLIVEIRA, M. L. S.; OLIVEIRA, L. F. S. et al. Application of andesite rock as a clean source of fertilizer for eucalyptus crop: Evidence of sustainability. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, 256, MAY 20 2020.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1997. Manual for methods of soil analysis, 2nd, Edited by: Rio, de Janeiro. **Brazil: National Service for Soil Survey and Soil Conservation**.

ERGUN, Z. The effects of plant growth substances on the oil content and fatty acid composition of *Ricinus communis* L.: an in vitro study. **Molecular Biology Reports**, 49, n. 6, p. 5241-5249, 2022. Article.

GOMES, L. Escravidão - Volume 2: Da corrida do ouro em Minas Gerais até a chegada da corte de dom João ao Brasil. Editora : Globo Livros; 1ª edição (10 junho 2021). 512 páginas. 15-16.

IBGE, 2023. Editoria: IBGE. Censo 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>. Acesso em: 29/06/2023.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Estatísticas do Setor. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/estatisticas-do-setor>> Acesso em: 20 de novembro de 2022.

MATOS, A. T., FONTES, M. P. F.; JORDÃO, C. P. Mobility and retention of Cd, Zn, Cu and Pb in a Brazilian Oxisol profile. In: WORD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15, Acapulco, 1994. **Anais**. Acapulco, International of Soil Science Society, 1994, p.193.

MENDES, C. R.; DIAS, D. C. F. S.; PEREIRA, M. D.; BERGER, P. G. Tratamentos Pré-Germinativos em Sementes de Mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Brasileira de Sementes**. Vol. 31, nº 1, p.187-194, 2009.

MORAES, J. F. V.; RABELO, N. A. 1986. Simple plant tissue digestion method (Document No. 12), Goiânia, Brazil: **EMBRAPA-CNPAP**.

MOREIRA, L. L. et al. Variabilidade de acessos de mamona para peso e teor de óleo das sementes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA – ENERGIA E RICINOQUIMICA, 3., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: Seagri/Embrapa, 2008. p. 56.

OLIVEIRA, E. M. M.; RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. V. H.; BORGES JUNIOR, J. C. F. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. **Eng. Agric. Amb.** 8:196-203, 2004.

OLIVEIRA, E. M. Avaliação do teor de óleo e peso em sementes de mamona utilizando diversos acessos. Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 1, p. 205-211, jan./mar. 2011.

OLIVEIRA, S.A. Análise foliar. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004. p.245-256.

PINHEIRO, R. B. **Mobilidade de nitrato em resposta a propriedades eletroquímicas de solos com carga variável. Viçosa**, MG. UFV, 76p. 2002 (Tese de Mestrado).

RAMOS, C.G., MEDEIROS, D.S. de, Gomez, L., Oliveira, L.F.S., Schneider, I.A.H., Kautzmann, R.M., 2019. **Evaluation of soil Re-mineralizer from by-product of volcanic rock mining: experimental proof using black oats and maize crops.** **Nat. Resour.** Res. 28, 1e18. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09529-x>.