



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CULTIVO DE GERGELIM IRRIGADO SOB DIFERENTES FONTES E DOSES
DE POTÁSSIO**

PALOMA MOREIRA DOS ANJOS

Campina Grande - PB

2023

PALOMA MOREIRA DOS ANJOS

Engenheira de Biosistemas

**CULTIVO DE GERGELIM IRRIGADO SOB DIFERENTES FONTES E DOSES
DE POTÁSSIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientadores: Dr^a Vera Lúcia Antunes de Lima

Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

Campina Grande - PB

2023

A599c Anjos, Paloma Moreira dos.
Cultivo de gergelim irrigado sob diferentes fontes e doses de potássio / Paloma Moreira dos Anjos. - Campina Grande, 2023.
74 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Profa. Dra. Vera Lucia Antunes de Lima, Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo."

Referências.

1. Gergelim 2. *Sesamum indicum* L. 3. Fertilizante Orgânico. 4. Adubação Potássica. 5. Reaproveitamento de Resíduos. 6. Manipueira. 7. Mandioca. 8. Efluente Líquido. 9. Irrigação. 10. Drenagem. 11. Gergelim. I. Lima, Vera Lucia Antunes de. II. Azevedo, Carlos Alberto Vieira de. III. Título.

CDU 582.916.36(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA ITAPUANA SOARES DIAS GONÇALVES CRB-15/093



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

PALOMA MOREIRA DOS ANJOS

CULTIVO DE GERGELIM IRRIGADO SOB
DIFERENTES FONTES E DOSES DE POTÁSSIO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
como pré-requisito para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 13/12/2022

Vera Lucia Antunes de Lima - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

Carlos Alberto Vieira de Azevedo - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

Geovani Soares de Lima - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

João Henrique Zonta - Examinador(a) Externo(a) - CNPA/EMBRAPA

André Alisson Rodrigues da Silva - Examinador(a) Externo(a) - CNPq/UFMG



Documento assinado eletronicamente por **André Alisson Rodrigues da Silva, Usuário Externo**, em 15/12/2022, às 12:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Geovani Soares de Lima, Usuário Externo**, em 15/12/2022, às 14:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Henrique Zonta, Usuário Externo**, em 16/12/2022, às 19:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 23/12/2022, às 09:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/02/2023, às 17:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2990033** e o código CRC **7BC17076**.

AGRADECIMENTOS

Gratidão primeiramente a Deus, por ser o meu guia em todos os caminhos que trilho.

Agradeço a minha linda família, meus pais Maria Ivoneide e José Eriberto, minhas irmãs Ana Cláudia e Patrícia Moreira e, minha sobrinha Yasmim. São eles a minha razão e motivo mais forte para nunca desistir e continuar me esforçando. Como sempre digo, é tudo por e para vocês.

Aos meus avós maternos, José Lau Moreira e Helena Rita Moreira (*In memoriam*) e minha avó paterna Araide Alaide dos Anjos (*In memoriam*). Que doçura poder vivenciar lindos e marcantes momentos ao lado de vocês.

Ao meu namorado José Vinícius, por sempre me apoiar, incentivar e estar ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço aos meus amigos que se fazem presente na minha jornada profissional e pessoal, em especial a Larissa Fernanda, Jailton Garcia, Renata Rayara, Kamila Sotero, Natália Rodrigues, Cassiano Nogueira, André Alisson, Marco Antônio, Branco e todos os colegas, professores e profissionais que fazem o PPGEA.

Agradeço imensamente à minha orientadora e inspiração de vida, Professora Vera Lúcia, por todos os incentivos e ensinamentos. Serei sempre grata por me acolher tão bem e me ajudar a conquistar esse sonho.

Agradeço a banca examinadora pela disponibilidade e contribuição no trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande, essencialmente ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

“Uma pausa para lembrar de todas as vezes que você pensou que não daria conta, mas deu.”

Aos meus pais, Maria Ivoneide
Moreira dos Anjos e José Eriberto dos
Anjos. Que honra e privilégio ser fruto
da vossa união.

OFEREÇO

As minhas irmãs, Ana Cláudia
Moreira e Patrícia Moreira. Não sou
uma, sou três.

DEDICO

“Aqueles que conseguem alcançar maiores alturas, são também os que mergulham em lugares mais profundos.”

- Montgomery, L. M.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO GERAL	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	12
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Geral	14
2.2 Específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Aspectos gerais da cultura do gergelim	16
3.2 Importância socioeconômica do gergelim	17
3.3 Importância do K⁺ para as plantas	18
3.4 Manipueira como fonte alternativa de K⁺	18
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	20
CAPÍTULO II - MANIPUEIRA COMO FONTE DE POTÁSSIO NO CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE CULTIVARES DE GERGELIM	24
RESUMO	26
ABSTRACT	27
1. INTRODUÇÃO	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4. CONCLUSÕES	45
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
CAPÍTULO III- PRODUÇÃO E FITOMASSA DE CULTIVARES DE GERGELIM ADUBADAS COM MANIPUEIRA COMO FONTE DE POTÁSSIO	50
RESUMO	51
ABSTRACT	52
1. INTRODUÇÃO	53
2. MATERIAL E MÉTODOS	54
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58

4. CONCLUSÕES	67
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
CAPÍTULO IV- CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS	74

LISTA DE TABELAS

Capítulo II - Manipueira como fonte de potássio no crescimento e trocas gasosas de cultivares de gergelim

Tabela 1. Características físico-química da manipueira tratada	23
Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento	24
Tabela 3. Resumo da análise de variância referente a porcentagem de emergência (E%)	26
Tabela 4. Resumo da análise de variância referente à altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda aos 30 DAS quando adubadas com manipueira como fonte de potássio	27
Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda aos 60 DAS quando adubadas com manipueira como fonte de potássio	31
Tabela 6. Resumo da análise de variância para concentração interna de CO ₂ (Ci), eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) e eficiência instantânea no uso da água (EiUA) quando adubadas com manipueira como fonte de potássio	34

Capítulo III - Produção e fitomassa de cultivares de gergelim adubadas com manipueira como fonte de potássio

Tabela 1. Características físico-química da manipueira tratada	46
Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento	47
Tabela 3. Resumo da análise de variância referente ao número de frutos (NF), altura de inserção do primeiro fruto (AIPF), massa dos frutos por planta (MF _R), massa de sementes total (MS) e massa de mil sementes (MS ₁₀₀₀) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda quando adubadas com manipueira como fonte de potássio	48
Tabela 4. Resumo da análise de variância referente à massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSP _A) e massa seca da raiz (MSR) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda quando adubadas com manipueira como fonte de potássio	54

LISTA DE FIGURAS

Capítulo II - Manipueira como fonte de potássio no crescimento e trocas gasosas de cultivares de gergelim

- Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental 22
- Figura 2.** Porcentagem de emergência - E% (A) e índice de velocidade de emergência - IVE (B) das cultivares de gergelim 27
- Figura 3.** Altura de planta – AP (A-B), diâmetro do caule – DC (C-D), número de folhas – NF (E) e área foliar – AF (F-G) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda aos 30 DAS quando adubadas com manipueira como fonte de potássio. 30
- Figura 4.** Altura de planta – AP (A-B), diâmetro do caule – DC (C-D), número de folhas – NF (E-F) e área foliar – AF (G-I) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda aos 60 DAS quando adubadas com manipueira como fonte de potássio 33
- Figura 5.** Concentração interna de CO₂ – Ci (A), eficiência instantânea de carboxilação – EiCi (B) e eficiência instantânea no uso da água – EiUA (C) quando adubadas com manipueira como fonte de potássio 36

Capítulo III - Produção e fitomassa de cultivares de gergelim adubadas com manipueira como fonte de potássio

- Figura 1.** Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental 45
- Figura 2.** Número de frutos (NF) (A), altura de inserção do primeiro fruto (AIPF) (B), massa dos frutos por planta (MF_R) (C-E), massa de sementes total (MS) (F-H) e massa de mil sementes (MS₁₀₀₀) (I), das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda quando adubadas com manipueira como fonte de potássio 51
- Figura 3.** Massa seca das folhas (MSF) (A-C), massa seca do caule (MSC) (D-E), massa seca da parte aérea (MSPA) (F-H) e massa seca da raiz (MSR) (I), das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda quando adubadas com manipueira como fonte de potássio 56

ANJOS, P. M. dos. Cultivo de gergelim irrigado sob diferentes fontes e doses de potássio. 2022. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem). Universidade Federal de Campina Grande. Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. Campina Grande, PB.

RESUMO GERAL

O reaproveitamento de resíduos com destino a nutrição de plantas tem sido amplamente discutido e avaliado, devido a minimização do descarte incorreto e da poluição e degradação ambiental, somado aos benefícios econômicos que pode propiciar aos produtores. Sendo assim, a manipueira que é um efluente líquido gerado do processamento da mandioca em casa de farinha possui grande potencial para ser utilizada como fertilizante nos cultivos agrícolas. Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar o efeito da aplicação de fontes (orgânica e mineral) e doses de potássio na fisiologia, no crescimento e produção de cultivares de gergelim irrigado. O estudo foi conduzido sob condições de casa de vegetação, em Campina Grande – PB, utilizando-se delineamento experimental inteiramente casualizado e esquema fatorial ($3 \times 4 \times 2$) sendo três cultivares de gergelim (BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda), quatro doses crescentes de potássio (40, 60, 80 e 100 kg ha^{-1}) e duas fontes de potássio (manipueira e cloreto de potássio), com três repetições e uma planta por parcela. A manipueira tratada aumentou o crescimento das cultivares de gergelim, aos 30 e 60 dias após o semeio. O aumento das doses de potássio foi responsável pelo incremento da concentração interna de CO_2 e redução da eficiência instantânea de carboxilação. A dose de 40 kg ha^{-1} utilizando-se o cloreto de potássio resultou em maior eficiência instantânea no uso da água das cultivares de gergelim. A cultivar BRS Seda é detentora dos melhores resultados na produção quando comparada às demais cultivares, especialmente quando submetida a adubação com manipueira. O acúmulo de biomassa seca também foi favorecido pelo uso da manipueira e a BRS Morena destaca-se em relação às demais cultivares. Considerando os resultados desse estudo, a aplicação de doses de manipueira como fonte de potássio entre 60 e 80 kg ha^{-1} pode suprir a demanda de potássio das cultivares de gergelim. A manipueira é uma fonte potencial de adubação organomineral para o cultivo de gergelim.

Palavras-chave: *Sesamum indicum* L., fertilizante orgânico, adubação potássica.

ABSTRACT GENERAL

The reuse of waste for plant nutrition has been widely discussed and evaluated, due to the minimization of incorrect disposal and environmental pollution and degradation, in addition to the economic benefits that can provide producers. Thus, cassava wastewater, which is a liquid effluent generated from the processing of cassava in flour houses, has great potential to be used as fertilizer on agricultural crops. In view of the above, the present study aimed to evaluate the effect of the application of sources (organic and mineral) and doses of potassium on the physiology, growth and production of irrigated sesame cultivars. The study was conducted under greenhouse conditions, in Campina Grande, PB, using an experimental design entirely randomized and factorial scheme ($3 \times 4 \times 2$) with three sesame cultivars (BRS Anahí, BRS Morena and BRS Seda), four increasing doses of potassium (40, 60, 80 and 100 kg ha⁻¹) and two sources of potassium (cassava wastewater and potassium chloride), with three repetitions and one plant per plot. The treated cassava wastewater increased the growth of sesame cultivars at 30 and 60 days after sowing. Increasing doses of potassium were responsible for increasing the internal CO₂ concentration and reducing the instantaneous carboxylation efficiency. The dose of 40 kg ha⁻¹ using potassium chloride resulted in higher instantaneous water use efficiency of sesame cultivars. The BRS Seda cultivar had the best production results when compared to the other cultivars, especially when subjected to cassava wastewater fertilization. The accumulation of dry biomass was also favored by the use of cassava wastewater and BRS Morena stands out in relation to the other cultivars. Considering the results of this study, the application of doses of cassava wastewater as a source of potassium between 60 and 80 kg ha⁻¹ can supply the potassium demand of sesame cultivars. Cassava wastewater is a potential source of organo-mineral fertilizer for sesame cultivation.

Key-words: *Sesamum indicum* L., organic fertilizer, potassium fertilization.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

1. INTRODUÇÃO GERAL

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é considerado uma das mais antigas culturas oleaginosas do mundo e sua origem tem sido pauta de discussão há mais de um século entre muitos estudiosos. Supõe-se que tenha sua origem na África e dispersada posteriormente para a Índia, China e Japão (ANTONIASSI et al., 2013; ZENAWI E MIZAN, 2019). Além da alta qualidade do óleo, o gergelim tem a capacidade de resistência a estresses bióticos e abióticos, crescimento satisfatório em diversas regiões agroclimáticas e boa adaptação a diferentes rotações de culturas (KABI et al., 2019). Essa oleaginosa é cultivada em aproximadamente 75 países entre a África, Ásia, América Central e América Latina (ZHANG et al., 2019).

Em 2019, a Tanzânia foi o maior produtor de gergelim, alcançando 0,80 milhões de toneladas, seguido de Mianmar e Índia, com média de 0,76 e 0,75 milhões de toneladas de gergelim, respectivamente (FAO, 2019). Já em 2020, foram plantados cerca de 14 milhões de hectares de gergelim pelo mundo, correspondendo a uma produção anual de quase 7 milhões de toneladas, sendo a África e Ásia responsáveis por 95,9% da produção total (FAO, 2022). No Brasil, o estado do Mato Grosso é detentor da maior produção de gergelim do país, com destaque para os municípios de Canarana e Água Boa (EMBRAPA, 2021). O cultivo do gergelim no Brasil na safra de 2021/2022 ocupou uma área de 143,5 mil hectares, correspondendo a uma produção de 78,5 mil toneladas (CONAB, 2022).

O gergelim configura-se como uma proposta rentável para a exploração econômica. Seu cultivo cresceu em razão da elevação da demanda, resultado das descobertas nutritivas e diversificação de subprodutos (BELTRÃO et al., 2013). Assim, no mercado encontram-se vários nichos tendo o gergelim como matéria prima, como gastronômicos, biocombustíveis, medicamentos, cosméticos e defensivos agrícolas (ARAÚJO et al., 2014). A utilização do gergelim permeia várias áreas de comercialização em razão do seu elevado valor nutricional e propriedades medicinais, como fontes de vitaminas (complexo B), minerais (cálcio, fósforo, magnésio, sódio, zinco e selênio), óleo (50%) composto por ácidos graxos insaturados (40% de oléico e 41% de linoleico) e substâncias antioxidantes como a sesamina, e sesamolina e o tocoferol que conferem resistência à rancificação (COSTA et al., 2012).

Tão logo, essa cultura possui grandes potencialidades econômicas, agronômicas e sociais em consequência das suas características, a exemplo da tolerância à seca e as

estratégias de manejo (EUBA NETO et al., 2016). Segundo Beltrão et al. (2013), estudos que discutem o cultivo do gergelim adaptado às condições ambientais adversas, ao consórcio e aspectos da nutrição dessas plantas são de grande importância para o sucesso no cultivo dessa oleaginosa. Sendo assim, a nutrição da planta é um fator limitante para o seu desenvolvimento, segundo Beltrão et al. (2013), o solo precisa fornecer nutrientes em quantidades adequadas para que a cultura exprime todos os seus potenciais produtivos.

O potássio, é um macronutriente de grande importância nas plantas, isso porque, está ligado a regulação do potencial osmótico das células vegetais e a ativação de enzimas relacionadas a respiração e fotossíntese (PAULILO et al., 2015). Além disso, na cultura do gergelim, a deficiência de potássio pode causar redução no crescimento, baixa emissão de folhas, folhas mais velhas onduladas e encarquilhadas para cima e a clorose (ARRIEL et al., 2007). Essa clorose, pode vir a evoluir para necrose, em especial nos ápices foliares, nas margens e entre as nervuras (TAIZ; ZEIGER, 2009).

No entanto, o manejo de fertilização também representa um custo significativo para o agricultor e pode causar impactos ao meio ambiente em decorrência da sua má utilização (MESQUITA, 2014; XIN et al., 2016). Por outro lado, a adubação organomineral é uma alternativa no que diz respeito a um melhor rendimento e qualidade da produção (ANDRADE et al., 2012). Somado ainda, ao benefício ambiental, a adubação organomineral é mais econômica e propicia maiores rendimentos aos produtores, haja vista que os fertilizantes perfazem cerca de 30% dos custos de produção (EMBRAPA, 2016). Dessa forma, reaproveitar resíduos e destiná-los a fertilização das plantas reduz o descarte incorreto destes no meio ambiente e contribui para uma economia circular (CRUZ, 2019). Tal como, a manipueira, efluente de cor amarela e aspecto leitoso gerado no processamento das raízes da mandioca ralada. As pesquisas indicam que esse efluente possui grande potencial como fertilizante, podendo ser reciclado em cultivos agrícolas (ARAÚJO et al., 2019).

Portanto, a manipueira tratada pode ser utilizada como potencial fertilizante por ser rica em macro e micronutrientes como: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco e manganês (CONCEIÇÃO et al., 2013). Ainda assim, no nordeste do país a maior parte das águas residuais da mandioca é proveniente de pequenas instalações e descartadas diretamente no solo, gerando problemas ambientais (SÁNCHEZ et al. 2017). Logo, o uso da manipueira na adubação das plantas pode reduzir a poluição ambiental causada pelo seu descarte incorreto, bem como, auxiliar no aumento da produtividade e

qualidade das plantas, na redução dos custos de produção e melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (MATOS, 2007).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito da aplicação de fontes (orgânica e mineral) e doses de potássio na fisiologia, no crescimento e produção de cultivares de gergelim irrigado.

2.2 Específicos

- Avaliar o crescimento das cultivares de gergelim em função das doses de adubação potássica orgânica e mineral;
- Analisar as alterações nas trocas gasosas e no acúmulo de fitomassa de cultivares de gergelim submetido a fontes e doses de potássio;
- Mensurar os componentes de produção das cultivares de gergelim sob adubação potássica orgânica e mineral.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais da cultura do gergelim

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), é uma oleaginosa pertencente à família Pedaliaceae tendo sua origem no continente Africano e na Ásia sendo cultivada em 75 países (ARRIEL, 2013; ZHANG et al., 2019).

A cultura do gergelim tem período vegetativo em torno de 3 a 4 meses e apresenta altura média de 0,5 a 3,0 metros, possuindo caule ereto com ou sem ramificações, seu sistema radicular é do tipo pivotante podendo conter pelos ou não. Suas folhas são alternadas e opostas possuindo na fase adulta a parte inferior mais larga e irregularmente dentada ou trilobadas (LOPES et al., 2021).

O fruto é uma cápsula mucronada (ápice de ponta curta e dura) alongada pilosa deiscente (que se abre ao atingir a maturação) ou indeiscente, de 2 a 8 cm de comprimento, a depender da variedade, já a coloração das sementes varia de branco a preto sendo as mesmas pequenas. O peso de 1.000 sementes é de 2 a 4 g dependendo da cultivar e do ambiente (ARRIEL, 2006).

As sementes do gergelim apresentam em sua composição elevados teores de óleos (46 – 50%) sendo (83 a 90%) de ácidos graxos saturados, 20% de proteínas, vitaminas e minerais, além de lignanas (compostos de metilenedioxifenil), tais como extratos vegetais, sesamol, sesamolin e tocoferóis (QUEIROGA et al., 2012),

O gergelim prefere solos profundos e de textura franca, sobretudo com boa drenagem e boa fertilidade natural (RAMOS et al., 2010). Apresentando boa adaptabilidade às condições de clima e solo de clima tropical quente, tendo um grau de tolerância ao estresse hídrico satisfatório (BELTRÃO et al., 2010). Para completar seu ciclo de cultivo o gergelim requer precipitações pluviais em torno de 400 a 600 mm anuais de forma bem distribuídas sendo seu início de cultivo necessário em média de 160 a 180 mm (OLIVEIRA et al., 2000).

Um dos fatores que influencia no cultivo do gergelim é a temperatura, sendo consideradas ideais entre 25 a 30°C, requerendo também luminosidade em torno de 10 horas diárias de luz e altitude preferencialmente baixas em média 1.200 m (EMBRAPA, 2009). O rendimento médio de grãos da cultura do gergelim situa-se em torno de 650 kg ha⁻¹, no entanto pode chegar a 1.500 kg ha⁻¹ em condições de clima, solo e irrigação ideal (NETO et al., 2016).

O gergelim extrai do solo quantidades elevadas de nitrogênio (N), de fósforo (P) e de potássio (K), que variam conforme a produção, o estado nutricional, a variedade utilizada e a parte da planta colhida, em geral a planta precisa de 50 kg/ha de N, de 14 kg/ha de P₂O₅ e de 60 kg/ha de K₂O para produzir 1.000 kg/ha de sementes (EMBRAPA, 2007).

Tais características torna a cultura do gergelim uma boa opção de cultivo para a região do semiárido Nordeste uma vez que apresenta grau de tolerância ao déficit hídrico, boa adaptabilidade às condições edafoclimáticas da região, além de apresentar baixa incidência de doenças, tornando seu cultivo mais fácil (CRUZ et al., 2010). Apesar de uma boa opção de cultivo nesta região ainda é de difícil organização, uma vez que é produzido sobretudo por agricultores familiares onde se concentra a maior parte da produção no semiárido (SILVA et al., 2016).

3.2 Importância socioeconômica do gergelim

O gergelim é uma cultura amplamente produzida e a sua escala de produção em diversos países se dá principalmente devido suas características medicinais e alto valor nutricional, desempenhando um papel importante em uma alimentação saudável (MA et al., 2022). O gergelim é conhecido como a “rainha das oleaginosas” e “cultura órfã” em decorrência do seu alto teor de óleo, aroma atrativo e resistência à oxidação e ranço (MUJTABA et al., 2020). Diante de suas características o gergelim foi considerado como uma das quatro maiores oleaginosas comestíveis na China ao lado da soja, amendoim e colza (SHAO et al., 2020).

Devido sua diversidade de uso, o gergelim tem sido considerado uma boa alternativa para exportação, principalmente relacionado à semente e derivados devido a demanda internacional, além disso pode ser uma boa sugestão para o cultivo na safrinha podendo substituir o milho (QUEIROGA et al., 2012).

A estimativa de produção para o ano de 2022 no Brasil é que a produção ultrapasse 100 mil toneladas de gergelim. O país deve encerrar o ano com uma produtividade de 668 kg ha⁻¹ de gergelim, com alta de 71,4% em comparação à safra passada. No estado mais produtor, o Mato Grosso, a estimativa é de aumento na produtividade, representado por incremento de 36,1% na produtividade média e produção total de 661 mil toneladas (CONAB, 2022).

3.3 Nutrição potássica e seus efeitos na produção do gergelim

O potássio é um dos macronutrientes mais requeridos pela maioria das culturas, isso se deve ao seu papel que desempenha na planta, participando de muitas funções tais como, ativação de enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, osmorregulação, formação de proteínas, formação e translocação de carboidratos, uso eficiente da água pela planta, síntese, transporte e armazenamento de fotoassimilados, além de promover melhorias na qualidade e no ganho de peso dos frutos (MONÇÃO et al., 2012).

O potássio torna-se um dos nutrientes mais importantes para as plantas uma vez que atua na regulação da abertura e fechamento estomático, esse funcionamento dos estômatos depende da concentração de potássio adequada, onde o mesmo se move para o interior das células guardas, resultando a abertura estomática permitido assim o movimento de gases de dentro para fora da célula (TAIZ et al., 2017).

A quantidade ideal na disponibilidade de nutrientes para as plantas é fundamental, uma vez que o pouco fornecimento nutricional pode afetar a produção e qualidade das sementes, afetando assim, a formação do embrião e dos órgãos de reserva, como também a composição química e por consequência o metabolismo e vigor das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Tendo em vista que grande parte das áreas agricultáveis apresenta uma redução na concentração de K, ou seja, deficiência deste nutriente sobretudo em solos que apresentam características arenosas, alagados, salinos e ácidos, tal condição é resultante da produção intensiva, resultando em problemas já que o potássio é um nutriente limitante na produção agrícola (ZÖRB et al., 2014; LIMA et al., 2018).

3.4 Biofertilizante de manipueira como fonte de K⁺

Ao longo do tempo a tendência de que o sistema de exploração agrícola proporcione um aumento de produtividade, associada a redução de custos, se difundiu. No entanto, para isso, é necessário que práticas culturais relacionadas, sobretudo adubações, sejam eficientes (KANO et al., 2010).

A manipueira é um dos resíduos resultantes do processamento da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para obtenção de farinha ou fécula, esse resíduo é um líquido leitoso amarelo-claro, contendo açúcares, gomas, proteínas, linamarina, derivados cianogênicos, sais minerais, principalmente o potássio e outras substâncias (CEREDA, 2001; ARAÚJO et al., 2019). No entanto, a presença de linamarina em sua composição

torna-se uma substância tóxica e bastante volátil provocando danos ambientais, caso seja lançada diretamente em cursos d'água (GONZAGA et al., 2007).

Para Alves et al. (2010), os resíduos da manipueira podem ser sólidos (terra, casca, bagaço), líquidos (água resultante das lavagens das raízes e água da extração da fécula ou manipueira) se caracterizando com alto potencial para aumentar a fertilidade do solo devido sua composição mineral.

Diante de tal conhecimento, é necessário que sejam traçadas estratégias para melhor descarte da manipueira, com isso pesquisas vêm sendo executadas com a utilização da mesma como fonte alternativa de potássio para as plantas, uma vez que a manipueira é rica em macro e micronutrientes como, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco e manganês tornando sua utilização como fertilizante perfeitamente viável (SANTOS et al., 2020).

Algumas pesquisas têm relatado o uso da manipueira como fonte alternativa de potássio como, Santos et al., (2010) em estudos com a cultura da alface aplicando doses de 0, 100, 200, 300, 400 e 500 mL de manipueira por vaso de 5 L, puderam constatar que o uso da manipueira é benéfico, no entanto, dependendo da dose aplicada.

Ferreira et al. (2015) trabalhando com a cultura do girassol observaram que a dose de manipueira de 250 mL por planta aumentou a massa seca do capítulo e fitomassa seca das sementes e capítulos, enquanto a massa seca total foi observada aumento quando se utilizou a dose de 375 mL por planta.

Em pesquisa com girassol Dantas et al. (2015) utilizando doses de manipueira de (0; 8,5; 17; 34; 68 e 136 m³ ha⁻¹) constataram que a dose de 136 m³ ha⁻¹ proporcionou maiores valores em altura de plantas, número de folhas, massa fresca e massa seca das folhas aos 60 dias após a semeadura.

Magalhães et al., (2014) ao analisarem o comportamento do milho AG-1051 sob doses de manipueira observaram que houve um aumento das variáveis de diâmetro de colmo, n° de folhas, massa fresca e seca de folhas quando se utilizou a dose de 63 m³ ha⁻¹ enquanto os demais parâmetros avaliados constatou-se na dose de se 75 m³ ha⁻¹.

Apesar da importância da manipueira como fonte alternativa para o aumento da produtividade das culturas, são incipientes estudos avaliando o seu potencial para a cultura do gergelim.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L. S. Atributos químicos e microbiológicos do solo com uso da manipueira na produção de alface e rúcula. 2010. 71p. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2010.
- ANDRADE, E. M. G.; SILVA, H. S.; SILVA, N. S.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; FURTADO, G. F. Adubação organomineral em hortaliças folhosas, frutos e raízes. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, v.7, n.3, p.7-11, 2012.
- ANTONIASSI, R.; ARRIEL, N. H. C.; GONÇALVES, E. B.; de FREITAS, S. C.; ZANOTTO, D. L.; BIZZO, H. R. Influência das condições de cultivo na composição da semente e do óleo de gergelim. *Ceres*, v. 60, n. 3, p. 301-310, 2013.
- ARAÚJO, F.S.; BORGES, S.R.S.; SILVA, G.Z.; ARAÚJO, L.H.B.; TORRES, E.J.M. Doses de fósforo no crescimento inicial do gergelim cultivado em solução nutritiva. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, João Pessoa, v.8, n.2, p.41-47, jun. 2014.
- ARAÚJO, N. C. A.; LIMA, V. L. A.; SENA, L. F.; LIMA, G. S.; ANDRADE, E. M. G.; CARDOSO, J. A. F.; OLIVEIRA, S. J. C. Produção de milho ‘Potiguar’ fertirrigado com água amarela e manipueira. *Revista de Ciências Agrárias*, 2019, v. 42, n.1, p. 166-174.
- ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P. T.; BELTRÃO, N. E. DE M.; SOARES, J. J.; ARAÚJO, A. E.; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. A cultura do gergelim. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 72p. (Cartilha Plantar, 50).
- BELTRÃO, N. E. DE M.; VALE, L. S.; MARQUES, L. F.; CARDOSO, G. D.; MARACAJA, P. B. Época relativa de plantio no consórcio mamona e gergelim. *Revista Verde de Agricultura e Desenvolvimento Sustentável*, v.5, n.5, p.67-73, 2010.
- BELTRÃO, N.E.M.; FERREIRA, L.L.; QUEIROZ, N.L.; TAVARES, M.S.; ROCHA, M.S.; ALENCAR, R.D.; PORTO, V.C.N. O gergelim e seu cultivo no semiárido brasileiro. Natal: IFRN, 2013. 225p
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 588 p. Kano, C.; Cardoso, A. I. I.; Villas Bôas, R. L.

- Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. *Horticultura Brasileira*, v. 28, n.1, p.287-291, 2010.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: quarto levantamento da safra 2021/2022, janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/408280bad57072b38a160412f36392313de55.pdf>. Acesso em: 20 outubro de 2022.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra de grãos: 10º Levantamento - Safra 2021/22. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 13 de janeiro de 2023.
- CONCEIÇÃO, A. A.; RÊGO, A. P. B.; SANTANA, H.; TEIXEIRA, I.; CORDEIRO MATIAS, A. G. C. Tratamento de efluentes resultantes do processamento da mandioca e seus principais usos. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, vol.4 n.2, p. 118 – 130, 2013.
- COSTA, F. S.; GOMES, A.H.S.; FERREIRA, D.J.L.; CHAVES, L.H.G.; MAGALHÃES, I.D.; PINTOSOBRIHNO, P.F. Crescimento e produção do gergelim irrigado em função da adubação potássica e nitrogenada. *Workshop internacional de inovações tecnológicas na irrigação*. Fortaleza, 2012.
- CRUZ, NAYARA FERNANDA FERRAZ DA SILVA. Produtividade de grãos e acúmulo de nutrientes em solo adubado com dejetos animais durante nove safras. 2019. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.
- CRUZ, R. N.; AZEVEDO, C. A. V.; NASCIMENTO, J. J. V. R.; LEITE, P. G.; LIMA, V. L. A. Diagnóstico socioeconômico do cultivo de gergelim no assentamento Nova Vida, PB in: *Congresso Brasileiro de Mamona, 4 & Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas*, 1, 2010, João Pessoa. *Inclusão Social e Energia: Anais*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. p.363-368.
- DANTAS, M. S. M.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. DE S.; PEDROSA, E. M. R.; TABOSA, J. N. DANTAS, D. da C. Crescimento do girassol adubado com resíduo líquido do processamento de mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.19, n.4, p.350–357, 2015.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Coleção Plantar: A cultura do Gergelim*. 1. Ed. 2007b. p 21-23. Disponível em: < <https://ainfo>.

- cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11911/2/00080980.pdf>. Acesso em: 28 Out 2022.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo do gergelim no Brasil cresce 230% em um ano. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64027841/cultivo-do-gergelim-no-brasil-cresce-230-em-um-ano>. Acesso em: 15 de setembro de 2022.
- EMBRAPA. Resíduos orgânicos enriquecidos com minerais geram adubos de qualidade. Notícias- Produção vegetal, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18645394/residuos-organicos-enriquecidos-com-minerais-geram-adubos-de-qualidade>. Acesso em: 14 de out. 2022.
- EUBA NETO, M.; PEREIRA, W. E.; SOUTO, J. S.; ARRIEL, N. H. C. Crescimento e produtividade de gergelim em Neossolo Flúvico em função de adubação orgânica e mineral. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 63, n.4, p. 568-575, 2016.
- FAO - Food and Agriculture Organization.FAOSTAT Crops. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 04 de outubro de 2022.
- FERREIRA, T. C.; AIRES SOUZA, J. T.; DE FARIAS, A. L.; CRUZ, M. P.; CUNHA, A. L. A.; COSTA OLIVEIRA, S. J. Produção de *Helianthus annuus* L. submetido à adubação orgânica com manipueira. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 14, n.4, p. 262–265, 2015
- KABI, M., BAISAKH, B., DASH, M., and TRIPATHY, S. K. Phenotyping of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes for powdery mildew resistance. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 8, n. 3, p. 1865-1867, 2019.
- LIMA, G. S. de; DIAS, A. S.; SOUZA, L. P. de; SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A. Effects of saline water and potassium fertilization on photosynthetic pigments, growth and production of West Indian Cherry. *Ambiente e Agua*, v.13, n.3, p.1-10, 2018.
- LOPES, N. DOS S.; BRASIL, G. B.; GENTIL, K. T. Desenvolvimento e produtividade do Gergelim em função da adubação fosfatada e uso de bactérias condicionadoras. *Journal of interdisciplinar debates*, v.2, n.4, p. 1-52, 2021.
- MA, X.; WANG, Z.; ZHENG, C.; LIU, C. A comprehensive review of bioactive compounds and processing technology of sesame seed. *Oil Crop Science*, v.7, n.2, p.88-94, 2022.

- MAGALHÃES, A. G.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. S.; NETO, E. B.; TABOSA, J. N.; PEDROSA, E. M. R. Desenvolvimento inicial do milho submetido à adubação com manipueira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.18, n.7, p. 675- 681, 2014.
- MATOS, A. T. Disposição de águas residuárias no solo. Viçosa, MG: AEAGRI, v. 140, 2007.
- MESQUITA, J.B.R. de. Influência de lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação na cultura do milho. 2014. 82p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- MUJTABA, M. A.; CHO, H. M.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; ONG, H. C.; GUL, M.; YUSOFF, M. N. A. M. Critical review on sesame seed oil and its methyl ester on cold flow and oxidation stability. *Energy Reports*, v.6, n.1, p. 40-54, 2020.
- NETO, M. E., PEREIRA, W. E., SOUTO, J. S., ARRIEL, N. H. C. Crescimento e produtividade de gergelim em Neossolo Flúvico em função de adubação orgânica e mineral. *Revista Ceres* v.63, n.4, 2016
- OLIVEIRA, A. P.; ALVES, E. U.; BRUNO, R. L. A.; BRUNO, G. B. Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivado com esterco bovino e adubo mineral. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 22, n 2, p. 10 108, 2000.
- PAULILO, M. T S.; VIANA, A. M.; RANDI, A. M. *Fisiologia Vegetal*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 182p
- QUEIROGA, V. P.; FREIRE, R. M. M.; FIRMINO, P. T.; MARINHO, D. R. F.; SILVA, A. C.; BARBOSA, W. T.; QUEIROGA, D. A. N. Avaliação da qualidade das sementes de gergelim submetidas aos processos de despeliculação manual, físico e mecânico. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.14, n.4, p.307-315, 2012.
- RAMOS, J. P. C.; JÚNIOR, J. N. S. M.; SOUZA, F. F.; FERNANDES, J. D.; LIMA, V. I. Comportamento do Número de Frutos do Gergelim (*Sesamum indicum*) Sob Diferentes quantidades de esterco bovino. IV Congresso Brasileiro de Mamona & I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa-PB, 2010. Anais. Campina grande: Embrapa Algodão, 2010, p. 509-513.
- SÁNCHEZ, A. S.; SILVA, Y. L.; KALID, R. A.; COHIM, E.; TORRES, E. A. Waste bio-refineries for the cassava starch industry: new trends and review of

- alternatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 73, n. 1, p. 1265-1275, 2017.
- SANTOS, M. H. V. D.; ARAÚJO, A. C. D.; SANTOS, D. M. R. D.; LIMA, N. D. S.; LIMA, C. L. C. D.; SANTIAGO, A. D. Uso da manipueira como fonte de potássio na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em casa-de-vegetação. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.32, n.1, p.729-733, 2010.
- SHAO, J.; ZHANG, G.; FU, J.; ZHANG, B. Jiawei et al. Advancement of the preparation methods and biological activity of peptides from sesame oil byproducts: a review. *International Journal of Food Properties*, v. 23, n.1, p. 2189-2200, 2020.
- SILVA, T. DO N.; SOSA, K. S. F.; OLIVEIRA, V. DE S.; PORCINO, M. M.; SILVA, R. T. DA.; SOUZA, L. V. DE.; COSTA, M. M. L. DA; MIELEZRSKI, F. Physiological responses of *Phaseolus lunatus* L. submitted to irrigation with saline water and potassium fertilization. *Research, Society and Development*, v.11, n.11, p.e143111133287, 2022.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.
- XIN, X. et al. Effects of long-term (23 years) mineral fertilizer and compost application on physical properties of fluvo-aquic soil in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*, v.156, n.1, p.166–172, 2016.
- ZENAWI, G; MIZAN, A. Effect of Nitrogen Fertilization on the Growth and Seed Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agronomy*, v. 2019, p. 1-7, 2019.
- ZHANG, H., MIAO, H., & JU, M. Potential for Adaptation to Climate Change Through Genomic Breeding in Sesame. In: KOLE, C. (eds). *Genomic Designing of ClimateSmart Oilseed Crops*. Springer, Cham. Ed. Springer, p. 371–440, 2019.
- ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture: Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, v.171, n.9, p.656-669, 2014.

CAPÍTULO II

MORFOFISIOLOGIA DE CULTIVARES DE GERGELIM SUBMETIDOS A ADUBAÇÃO POTÁSSICA ORGÂNICA E MINERAL

MORFOFISIOLOGIA DE CULTIVARES DE GERGELIM SUBMETIDOS À ADUBAÇÃO POTÁSSICA ORGÂNICA E MINERAL

RESUMO

O reuso agrícola de efluentes industriais vêm se tornando uma alternativa viável e sustentável no que diz respeito à reciclagem de nutrientes e ao uso eficiente da água. A manipueira é um efluente gerado durante o processamento da mandioca para obtenção da farinha e destaca-se como fonte de macro e micronutrientes, em especial, o potássio. Neste contexto, objetivou-se, com este estudo, avaliar os efeitos da aplicação de doses e fontes de potássio sobre as trocas gasosas e crescimentos de cultivares de gergelim. O estudo foi conduzido sob condições de casa de vegetação, em Campina Grande – PB, utilizando-se delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial ($3 \times 4 \times 2$) sendo três cultivares de gergelim (BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda), quatro doses de potássio (40, 60, 80 e 100 kg ha⁻¹) e duas fontes de potássio (manipueira e cloreto de potássio), com três repetições e uma planta por parcela. Dentre as cultivares estudadas, a BRS Morena apresentou a maior porcentagem de emergência como também o maior índice de velocidade de emergência, 93,75% e 25,65%, respectivamente. A manipueira como fonte de potássio promoveu os maiores valores em todas as variáveis de crescimento, sendo as doses de 60 e 80 kg ha⁻¹ promotoras dos maiores valores de área foliar aos 60 dias após a semeadura, para as cultivares BRS Morena e BRS Seda, respectivamente. O aumento nas doses de potássio resultou em incremento na concentração interna de CO₂ e redução da eficiência instantânea de carboxilação das plantas de gergelim. A dose de 40 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio aumentou a eficiência instantânea no uso da água.

Palavras-chave: *Sesamum indicum* L., manipueira, eficiência fotossintética.

MORPHOPHYSIOLOGY OF SESAME CULTIVARS SUBJECTED TO ORGANIC AND MINERAL POTASSIUM FERTILIZATION

ABSTRACT

The agricultural reuse of industrial effluents has become a viable and sustainable alternative in terms of nutrient recycling and efficient water use. Cassava wastewater is an effluent generated during the processing of cassava to obtain flour and stands out as a source of macro and micronutrients, especially potassium. In this context, the aim of this study was to evaluate the effects of the application of doses and sources of potassium on gas exchange and growth of sesame cultivars. The study was conducted under greenhouse conditions, in Campina Grande - PB, using an experimental design entirely randomized in a factorial scheme ($3 \times 4 \times 2$) with three sesame cultivars (BRS Anahí, BRS Morena and BRS Seda), four doses of potassium (40, 60, 80 and 100 kg ha⁻¹) and two sources of potassium (cassava wastewater and potassium chloride), with three repetitions and one plant per plot. Among the cultivars studied, BRS Morena showed the highest percentage of emergence and also the highest rate of emergence speed, 93,75 and 25,65%, respectively. Cassava wastewater as a source of potassium promoted the highest values in all growth variables, with the doses of 60 and 80 kg ha⁻¹ promoting the highest values of leaf area at 60 days after sowing, for the cultivars BRS Morena and BRS Seda, respectively. The increase in potassium dose resulted in increased internal CO₂ concentration and reduced instantaneous carboxylation efficiency of sesame plants. The dose of 40 kg ha⁻¹ of potassium chloride increased the instantaneous water use efficiency.

Key-words: *Sesamum indicum* L., cassava wastewater, photosynthetic efficiency.

1. INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) pertence à família Pedaliaceae e seu cultivo se dá especialmente em regiões tropicais (LAURENTIN et al. 2014). A sua produção mundial nos últimos quinze anos resultou em 4,5 milhões de toneladas de grãos de gergelim, produção advinda de uma estimativa entre 60 e 75 países produtores (FAO, 2019).

No Brasil, o cultivo do gergelim passou de 53 mil hectares na safra 2018/2019 para 175 mil hectares na safra 19/20, obtendo aumento de mais de 225% em apenas um ano. A produção aumentou 123%, saindo de 41,3 mil toneladas para 95,8 mil toneladas do grão. Devido a maior demanda do mercado, nos últimos dez anos, o aumento da produção foi ainda mais expressivo, obtendo um aumento de cerca de 20 vezes mais grãos do que as cinco mil toneladas registradas em 2010. Atualmente o estado do Mato Grosso, sobretudo os municípios de Canarana e Água Boa, na região leste do estado, concentra a maior parte da produção (EMBRAPA, 2021). Embora seja uma cultura de grande importância mundial, historicamente, tem sido pouco pesquisada (DOSSA et al., 2017).

A utilização de fertilizantes orgânicos é uma alternativa viável que possibilita a diminuição no uso de produtos minerais industriais e promove o aumento da matéria orgânica do solo, reciclando os nutrientes às culturas e conseqüentemente favorecendo a manutenção da fertilidade do solo (ROMANIW et al., 2015). Assim, como propulsora da economia de fertilizantes de origem mineral e do aumento no rendimento das culturas a manipueira, efluente líquido proveniente do processamento da mandioca, é um resíduo rico em matéria orgânica e nutrientes, sobretudo o potássio (DANTAS et al., 2016).

Em vista disso, a fertilização orgânica tem potencial para aumentar o crescimento, a produção e a qualidade das plantas (NAJARIAN; SOURI, 2020). A associação de fertilizantes orgânicos e minerais podem proporcionar aumento da atividade microbiana no solo, da biomassa vegetal e da absorção de nutrientes, quando comparada a uma adubação integralmente mineral (WEN et al., 2016).

Dentre os macronutrientes, o potássio, além de promover a abertura estomática, possui reconhecida importância na fisiologia das plantas, é participante de processos vitais como a fotossíntese, regulação osmótica, balanço eletroquímico, transporte de solutos no xilema e floema, cofator para atividades enzimáticas, síntese de proteínas e resistência ao estresse (SHABALA e POTTOSIN, 2014). Segundo Wang et al., 2012, vários relatos indicam que as taxas fotossintéticas de plantas superiores se alteram

consideravelmente em diferentes concentrações de potássio, a sua deficiência levaria a modular negativamente a expressão do conteúdo e atividade de Rubisco, a transpiração (E) e as condutâncias estomática (gs) e do mesófilo (gm).

Diante desse cenário, objetivou-se, com este estudo, avaliar os efeitos da aplicação de doses e fontes de potássio sobre as trocas gasosas e crescimentos de cultivares de gergelim

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de agosto e outubro de 2021, em ambiente protegido (casa de vegetação) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Campina Grande, PB, cujas coordenadas geodésicas são 07° 15' 18'' S, e 35° 52' 28'' O e altitude de 550 m. Possui um clima com temperaturas mais moderadas: Tropical com estação seca do tipo As, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (AZEVEDO et al, 2015). Os dados de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental estão dispostos na Figura 1.

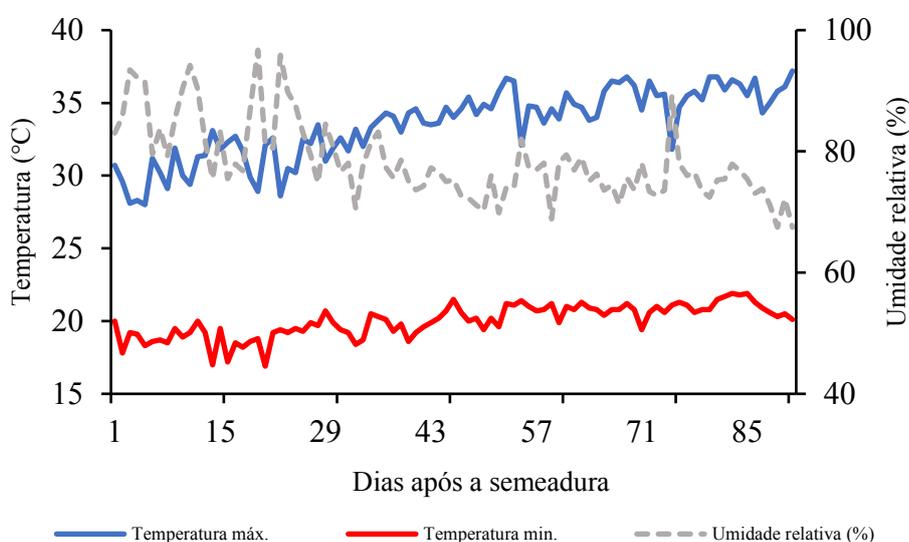


Figura 1. Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental

Os tratamentos consistiram de três cultivares de gergelim (BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda) adubados com duas fontes de potássio (manipueira tratada e cloreto de potássio), quatro doses crescentes (40, 60, 80 e 100 kg ha⁻¹ de K₂O), em arranjo fatorial 3×4×2, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e uma

planta por parcela. As doses de potássio aplicadas corresponderam aproximadamente a 65, 100, 130 e 160% da necessidade da cultura de 60 kg ha⁻¹ de K₂O, conforme recomendação de Arriel et al. (2007). As doses de potássio de 40, 60, 80 e 100 kg ha⁻¹ de K₂O corresponderam a aplicação de 303,6, 455, 607 e 758,9 ml de manipueira tratada por vaso. A manipueira tratada foi diluída na proporção de 1:1 para aplicação via fundação conforme recomendado em Ponte (2006). A adubação de fundação consistiu na aplicação de toda a dose diretamente no solo quinze dias antes da semeadura.

A manipueira foi coletada em uma casa de farinha, localizada no distrito de Jenipapo, município de Puxinanã-PB e passou por um tratamento que consistiu de uma biodigestão anaeróbia, por período de 90 dias. Após o tratamento, uma amostra de 0,5 L foi coletada e encaminhada para o Laboratório de Saneamento da UFCG para realização das análises físico-químicas da manipueira biodigerida seguindo a metodologia proposta pela Standard Methods for Wastewater (APHA, 2005) (Tabela 1).

Tabela 1. Características físico-química da manipueira tratada

Parâmetros						
pH	CE (mS cm ⁻¹)	PO ₄ ⁻³ (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)	N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	Ca+Mg (mgCaCO ₃ L ⁻¹)
3,6	13,68	139,8	1.120,0	671,0	2,82	6.950,0

pH -Potencial hidrogeniônico; CE -Condutividade elétrica; PO₄-3-Ortofosfato; K -Potássio; Na -Sódio, N-NO₃ – Nitrato, e Ca+Mg -Dureza total.

A adubação foi estimada através da recomendação descrita por Arriel et al. (2007) para cultivo do gergelim, sendo aplicados 50 kg ha⁻¹ de N e 14 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A fonte de nitrogênio foi o sulfato de amônio (20% de N e 22% de enxofre) e de fósforo o fosfato monoamônico (54% de P₂O₅ e 12% de N). Os fertilizantes foram fracionados em três partes e aplicados via fertirrigação.

Utilizou-se sementes das cultivares BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda devido aos seus altos rendimentos, uniformidade de plantas e de sementes e a boa adaptação ao clima da região semiárida. A cultivar de gergelim BRS Anahí apresenta haste de coloração verde-escura, porte mediano, ciclo de 90 dias, hábito de crescimento não ramificado, floração aos 39 dias e três frutos por axila foliar. As sementes têm coloração esbranquiçada, peso médio de 4,22 mg e teor de óleo variando de 50 a 52%. Apresenta tolerância à murcha de macrophomina, mancha angular e cercosporiose (EMBRAPA, 2015). Já a BRS Morena é uma cultivar de coloração marrom avermelhada, com uso focado no mercado gourmet. A cultivar apresenta alta produtividade de grãos e teor de

óleo superior a 50%, seu potencial produtivo é de cerca de 980 kg ha⁻¹ em regime de sequeiro e 1.800 kg ha⁻¹ em sistema irrigado. Seu hábito de crescimento é pouco ramificado, permitindo uma densidade populacional até três vezes superior às cultivares ramificadas, apresentando ainda, tolerância às principais doenças que atacam a cultura do gergelim (EMBRAPA, 2020). Já a cultivar BRS Seda possui sementes de cor branca, alto valor comercial, com uso nas indústrias alimentícias e de confeitarias. Em condições ideais de solo, água e manejo da planta, a BRS Seda pode atingir uma produtividade de até 2.500 kg ha⁻¹. A cultivar é tolerante à mancha angular, cercosporiose e à murcha de macrophomina (EMBRAPA, 2007).

As sementes de gergelim, doadas pela Embrapa Algodão, foram semeadas manualmente, em sulcos de 10 cm de diâmetro e 2 cm de profundidade, utilizando vinte sementes por vaso. Após a emergência das plântulas, foi feito desbaste em duas etapas, quando as plantas estavam com dois e três pares de folhas definitivas, aos 15 e 30 dias após o semeio (DAS) respectivamente, deixando-se uma planta por vaso, a mais vigorosa.

Foram utilizados vasos plásticos de 20 L de capacidade, para a drenagem foi realizada a perfuração na extremidade inferior de cada vaso, neste orifício foi acoplado um dreno transparente flexível para realizar a drenagem. Em cada orifício, foi colocada uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30), com o objetivo de impedir o entupimento do mesmo. Acima da manta geotêxtil foi posta uma camada de 0,5 kg de brita nº 1, e logo em seguida 33 kg de solo. O solo utilizado foi coletado no município de Puxinanã-PB e foi classificado como Litólico Eutrófico (EMBRAPA, 2006) de textura franco-arenosa, cujas características químicas e físicas (Tabela 2) foram obtidas conforme a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento

Características químicas									
pH (H ₂ O) (1:2,5)	M. O. (%)	P (mg kg ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺ + H ⁺	PS T (%)	CEes (dS m ⁻¹)
			(cmolc kg ⁻¹)						
5,48	0,36	2,03	0,46	1,47	3,62	1,25	4,88	1,4 7	0,51
Características físico-hídricas									

Fração granulométrica			Classe textural	Umidade (%)		AD	Porosidade total %	DA	DP
(dag kg ⁻¹)				0,33 atm	0,15 atm				
Areia	Silte	Argila							
83,41	6,04	10,55	FA	12,58	4,95	7,63	43,28	1,5 2	2,68

M.O. – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Al³⁺ e H⁺ extraídos com acetato de cálcio 1 mol L⁻¹ pH 7,0; PST- Percentagem de sódio trocável; CEes – Condutividade elétrica do extrato de saturação; FA – Franco Arenoso; AD – Água disponível; DA- Densidade aparente; DP- Densidade de partículas.

Após a semeadura, a irrigação foi realizada diariamente às 7h, aplicando-se em cada recipiente, o volume correspondente ao obtido pelo balanço de água. Este volume de água aplicado nas plantas foi determinado conforme a Eq. 1:

$$VI = \frac{VA - VD}{1 - Fl} \quad (1)$$

Em que: VI: volume de irrigação (mL);

VA: volume aplicado (mL);

VD: volume drenado (mL) e,

FL: fração de lixiviação de 0,15, aplicada a cada 30 dias para evitar acumulação excessiva de sais.

Durante a condução do experimento, foram realizados tratamentos culturais como capina, escarificação do solo e controle fitossanitário preconizados para a cultura, monitorando o surgimento de pragas e doenças, adotando-se medidas de controle quando necessário.

Com os dados diários de emergência foi possível determinar a porcentagem de emergência (E%) e o índice de velocidade de emergência (IVE) seguindo a metodologia proposta por Maguire (1962) de acordo com as Eqs. 2 e 3:

$$E\% = \left(\frac{N}{A} \right) \times 100 \quad (2)$$

Em que: E%: porcentagem de emergência;

N: Número total de sementes emergidas e,

A: Número total de sementes semeadas.

$$IVE = \left(\frac{N_1}{D_1} + \frac{N_2}{D_2} + \dots + \frac{N_n}{D_n} \right) \quad (3)$$

Em que: IVE: índice de velocidade de emergência;

N - Números de plântulas verificadas no dia da contagem e,

D - Números de dias após a semeadura em que foi realizada a contagem.

As variáveis de crescimento foram analisadas aos 30 e 60 dias após a semeadura (DAS) sendo determinada a altura de plantas (AP) com auxílio de uma trena de 5 metros, o diâmetro do caule (DC) fazendo-se uso de paquímetro digital, o número de folhas (NF) por meio de contagem direta e a área foliar (AF) determinada por meio da Eq. 4 proposta por Silva et al. (2002).

$$AF = C \times L \times 0,7 \quad (4)$$

Em que: C é o comprimento da folha ao longo do limbo foliar (cm);

L é a largura da folha determinada na região mediana transversal do limbo foliar (cm) e, AF é a área foliar em cm².

Aos 47 DAS, foram avaliadas as trocas gasosas fazendo-se uso de um determinador de trocas gasosas em plantas, contendo um analisador de gás infravermelho - IRGA (Infra Red Gás Analyser, modelo LCpro – SD, da ADC Bioscientific, UK), com leituras realizadas às 7h na terceira folha totalmente expandida contada a partir da gema apical, conduzidas sob condições naturais de temperatura do ar, e utilizando uma fonte artificial de radiação de 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, onde foram mensurados condutância estomática (*g_s*) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (*E*) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa assimilação de CO₂ (*A*) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO₂ (*C_i*) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). De posse desses dados foram estimadas a eficiência instantânea no uso da água - *E_iU_A* (*A/E*) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea de carboxilação - *E_iC_i* [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})$].

Os dados coletados passaram pelo teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 0,05 de probabilidade. Em seguida, foram submetidos à análise de variância e nos casos de significância foi realizada análise de regressão linear e quadrática para as fontes de variação quantitativas (doses de potássio), a escolha do modelo de regressão (linear ou quadrática) foi feita pela significância dos coeficientes pelo teste F e pelo coeficiente de determinação (R^2) e as fontes de variação qualitativas (fonte de potássio e cultivares de gergelim) foram comparadas pelo teste de Tukey a um nível de probabilidade de 0,05 e 0,01 por meio software estatístico SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) das cultivares sobre a porcentagem de emergência (E%) e o índice de velocidade de emergência (IVE) das plantas de gergelim (Tabela 3). As fontes e doses de potássio, assim como a interação entre os fatores não afetaram significativamente nenhuma das variáveis analisadas.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente a porcentagem de emergência (E%) e ao índice de velocidade de emergência (IVE) das cultivares de gergelim sob diferentes fontes e doses de potássio

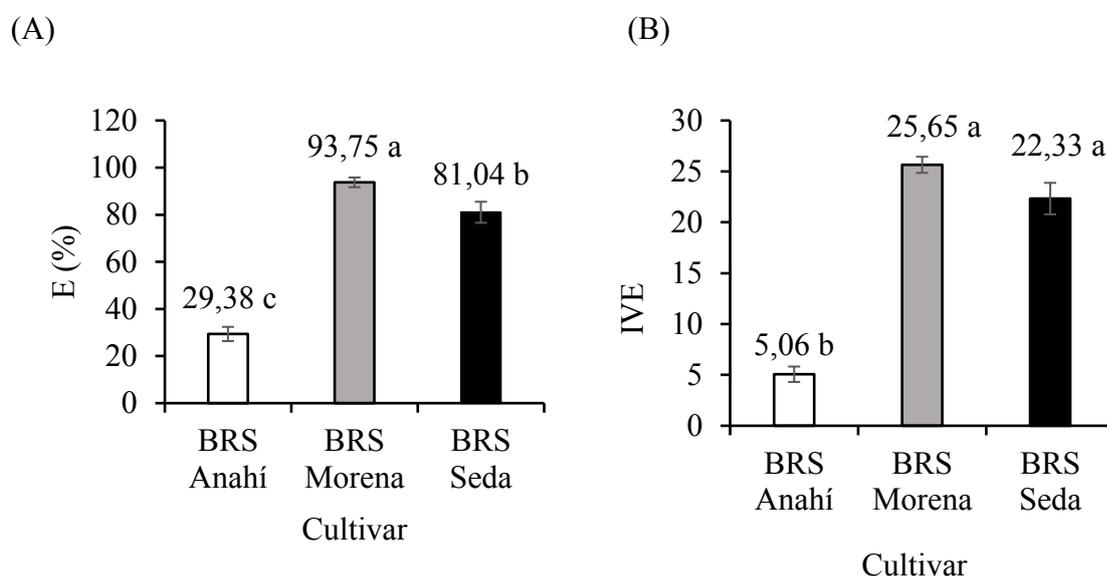
Fontes de variação	Quadrados médios		
	GL	E%	IVE
Cultivar (C)	2	27900,7**	2930,5**
Fonte de K ₂ O (FK)	1	168,05 ^{ns}	40,56 ^{ns}
Dose de K ₂ O (DK)	3	341,7 ^{ns}	38,12 ^{ns}
Interação (C × FK × DK)	6	135,9 ^{ns}	11,66 ^{ns}
Interação (C×FK)	2	62,9 ^{ns}	16,34 ^{ns}
Interação (C × DK)	6	400,3 ^{ns}	45,16 ^{ns}
Interação (FK× DK)	3	218,9 ^{ns}	10,15 ^{ns}
Resíduo	48	275,7	29,6
CV(%)		24,4	20,38

CV (%) -coeficiente de variação; **significativo em 0,01 de probabilidade, ^{ns} não significativo.

A cultivar BRS Anahí diferiu estatisticamente das cultivares BRS Morena e BRS Seda em todas as variáveis analisadas. Se tratando da porcentagem de emergência, a BRS Anahí apresentou o menor valor, com menos de 30% das plântulas emergidas. Quando comparada às demais cultivares seu potencial de emergência foi significativamente inferior, redução de 64,37% em relação a cultivar Morena e 51,66% em comparação com a cultivar Seda. A BRS Morena apresentou a maior porcentagem de emergência, com 93,75% das plântulas emergidas, diferindo estatisticamente da BRS Seda que obteve 81,04% de emergência (Figura 2A). O valor de emergência da cultivar BRS Seda é levemente superior ao obtido por Lucena et al. (2013), que obteve porcentagem de emergência de 72% para sementes dessa cultivar provenientes de frutos colhidos aos 90 dias após a emergência, em estudo.

Do mesmo modo, a BRS Anahí difere estatisticamente das demais cultivares no índice de velocidade de emergência (Figura 2B) sendo necessário um maior número de

dias para a emergência das plântulas dessa cultivar. No entanto, não foi observado diferença estatística entre as cultivares BRS Morena e BRS Seda, com IVE de 25,65 e 22,33, respectivamente.



Médias seguidas por letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Barras na vertical representam o erro padrão da média ($n=3$).

Figura 2. Porcentagem de emergência - E% (A) e índice de velocidade de emergência - IVE (B) em função das cultivares de gergelim

Essas cultivares (Morena e Seda) emergiram em um menor número de dias, estabilizando a emergência de plântulas aos sete dias após a semeadura, ao passo que a BRS Anahí necessitou de dez dias para obter estabilidade na emergência. A disparidade da BRS Anahí em comparação às demais cultivares pode ser explicada pelo baixo vigor da semente, segundo Carneiro et al. (2020), sementes com elevado vigor demonstram maiores valores de velocidade nos processos metabólicos resultando em emergência mais rápida e uniforme como também maior taxa de crescimento.

Verifica-se efeito significativo ($p \leq 0,01$) das cultivares sobre todas as variáveis de crescimento do gergelim analisadas (Tabela 4). As fontes de potássio (KCl e manipueira) proporcionaram diferença significativa ($p \leq 0,01$) sobre a AP e AF e a ($p \leq 0,05$) sobre DC aos 30 dias após a semeadura. As doses de potássio, assim como a interação entre os fatores não afetaram significativamente nenhuma das variáveis analisadas.

Tabela 4. Resumo da análise de variância referente à altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda aos 30 DAS sob diferentes fontes e doses de potássio

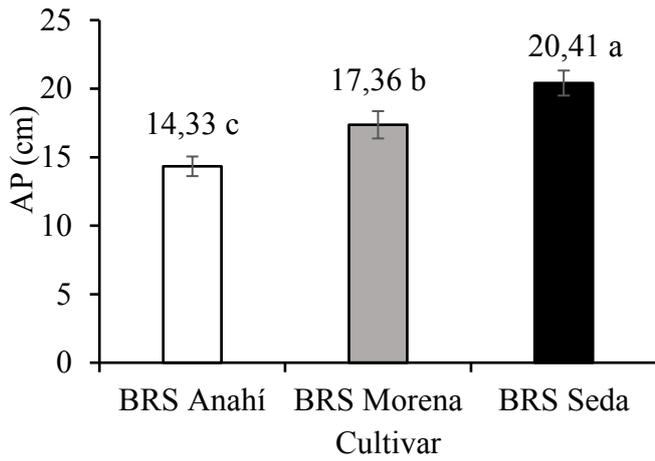
Fontes de variação	Quadrados médios				
	GL	AP	DC	NF	AF
Cultivar (C)	2	221,43**	0,13**	17,93**	141827,53**
Fonte de K ₂ O (FK)	1	303,81**	0,11*	4,03 ^{ns}	191622,80**
Dose de K ₂ O (DK)	3	4,12 ^{ns}	0,002 ^{ns}	1,05 ^{ns}	596,1 ^{ns}
Interação (C × FK × DK)	6	5,67 ^{ns}	0,003 ^{ns}	1,69 ^{ns}	3610,98 ^{ns}
Interação (C×FK)	2	23,35 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,10 ^{ns}	14446,98 ^{ns}
Interação (C × DK)	6	9,59 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,63 ^{ns}	5066,89 ^{ns}
Interação (FK× DK)	3	14,51 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1600,93 ^{ns}
Resíduo	48	16,54	0,0077	1,29	8027,59
CV(%)		23,42	21,59	17,91	23,92

CV (%) -coeficiente de variação; **significativo em 0,01 de probabilidade, *significativo em 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

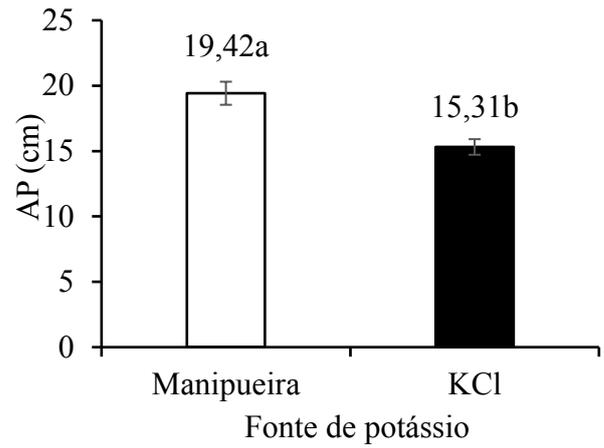
Para a variável altura de plantas destaca-se a cultivar BRS Seda com valor superior às demais cultivares obtendo altura média de 20,41 cm, representando uma diferença média percentual de 42,4 e 17,6% das cultivares BRS Anahí e BRS Morena, respectivamente (Figura 3A). Quanto a fonte de potássio, a manipueira tratada promoveu incremento na AP das cultivares de gergelim com diferença média percentual de 26,8% maior em comparação ao uso do cloreto de potássio (KCl) (Figura 3B), esses resultados corroboram com os obtidos por Magalhães et al. (2014), no qual observaram alterações significativa no crescimento do milho híbrido AG-1051 promovido pelo uso de diferentes dosagens de manipueira.

(A)

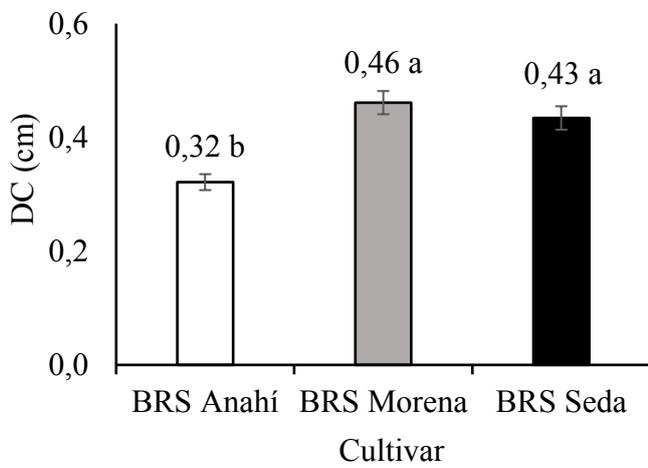
(B)



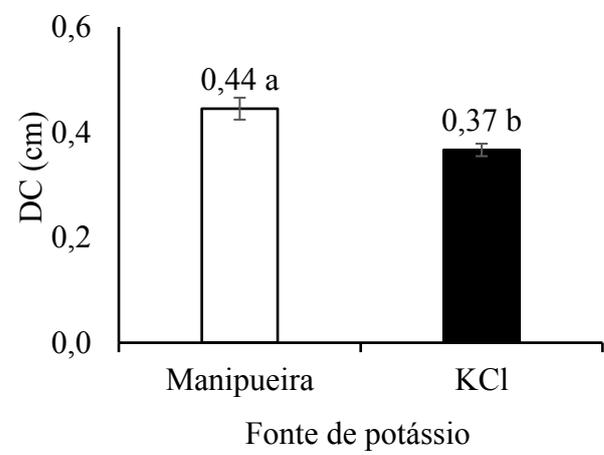
(C)



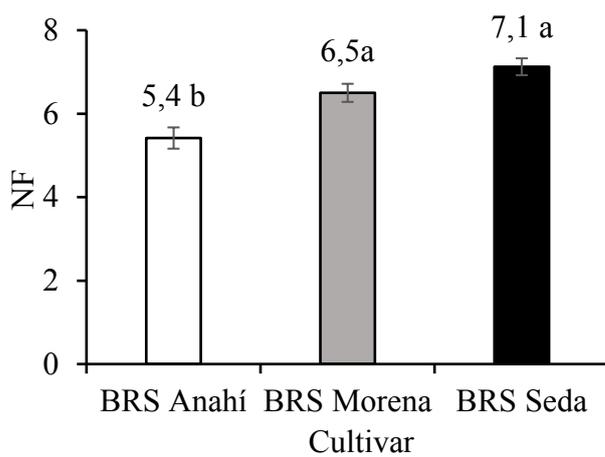
(D)



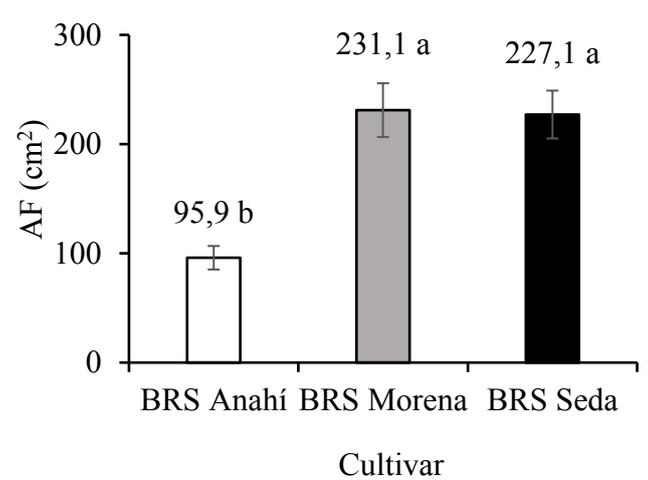
(E)

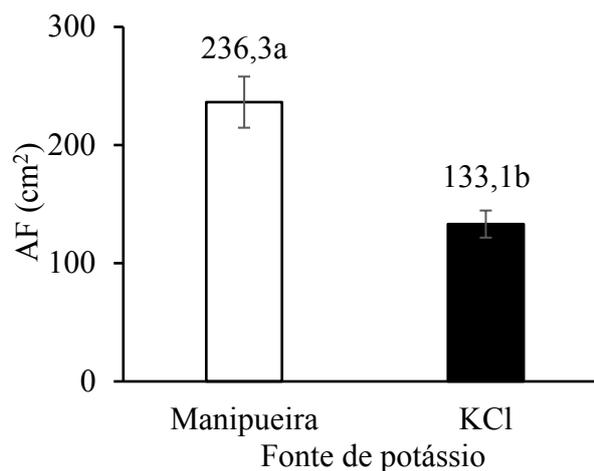


(F)



(G)





Médias seguidas por letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Barras na vertical representam o erro padrão da média ($n=3$).

Figura 3. Altura de plantas – AP (A-B), diâmetro do caule – DC (C-D), número de folhas – NF (E) e área foliar – AF (F-G) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda aos 30 DAS sob diferentes fontes e doses de potássio

Em relação ao diâmetro do caule a BRS Morena com média de 0,46 cm, não difere estatisticamente da BRS Seda com diâmetro médio de 0,43 cm. No entanto, a BRS Anahí difere das demais cultivares com valor médio percentual inferior a 43% (Figura 3C). A fonte de potássio manipueira tratada promoveu também maior valor de diâmetro do caule, cerca de 19% superior às plantas de gergelim adubadas com KCl (Figura 3D). Silva et al. (2016), também constataram que a adubação orgânica, neste caso com esterco bovino, influenciou diretamente no diâmetro do caule da cultivar de gergelim BRS Seda, independente da lâmina de água utilizada.

Para as variáveis NF e AF observa-se o mesmo padrão de comportamento no qual a BRS Anahí apresenta os menores valores 5,4 e 95,9 cm² para número de folhas e área foliar, respectivamente (Figura 3E e 3F). No entanto, a BRS Morena e BRS Seda não diferem estatisticamente, com valores médios de 6,5 folhas para a cultivar Morena e 7,1 folhas para a cultivar Seda. Esses valores podem ser explicados pelo hábito de crescimento das cultivares, no qual a BRS Anahí possui crescimento não ramificado e as BRS Morena e Seda, pouco ramificado e ramificado, respectivamente.

Com relação à área foliar reitera-se o uso da manipueira como fonte de potássio como promotora do melhor crescimento das cultivares de gergelim aos 30 DAS (Figura 3G). Quando adubadas com manipueira o incremento da AF das plantas de gergelim foi de 77,5% superior às plantas adubadas com KCl, com valor médio de 236,3 cm².

Concordando com os resultados obtidos por Sousa et al. (2017), que constataram o aumento da área foliar do gergelim quando adubado com biofertilizante mesmo submetido a irrigação com água salina.

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 5) houve efeito significativo das cultivares e fontes de potássio ao nível de 1% de probabilidade para AP e AF e ao nível de 5% de probabilidade sobre DC e NF. A interação entre os fatores (Cultivar × Dose) influenciou de forma significativa ($p \leq 0,01$) a área foliar das plantas de gergelim, aos 60 dias após a semeadura.

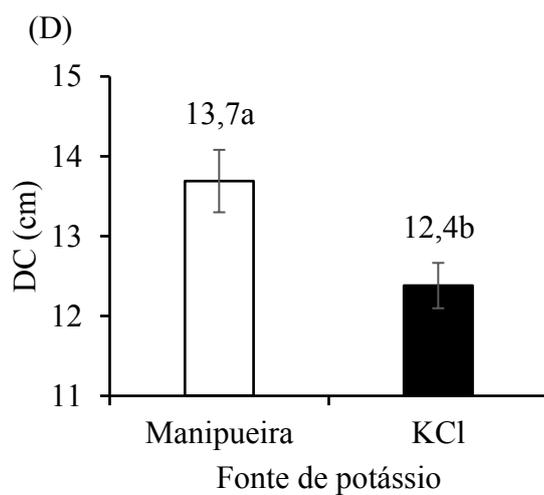
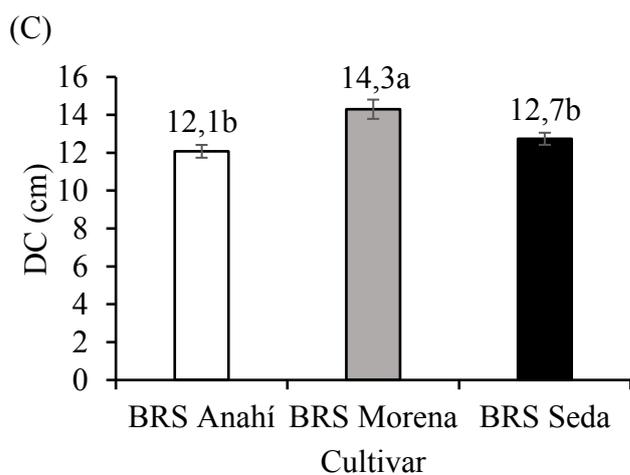
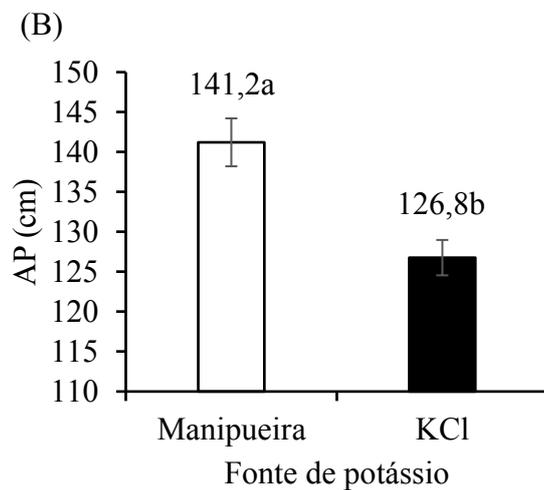
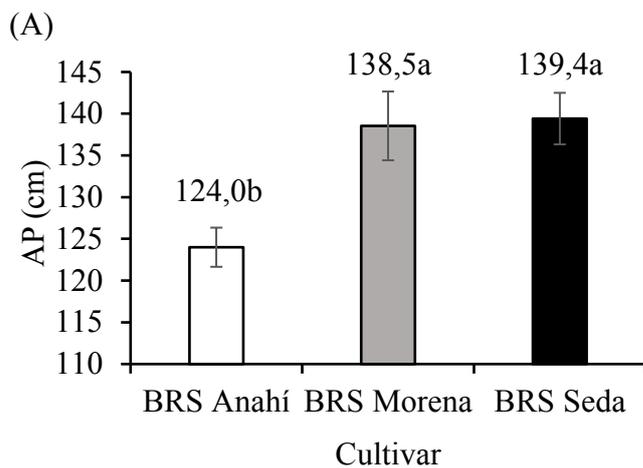
Tabela 5. Resumo da análise de variância referente à altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda aos 60 DAS sob diferentes fontes e doses de potássio

FV	Quadrados médios				
	GL	AP	DC	NF	AF
Cultivar (C)	2	1799,6**	31,2*	531,1*	1,36x10 ⁷ **
Fonte de K ₂ O (FK)	1	3775,5**	30,8*	1440,1*	5,50x10 ⁶ **
Dose de K ₂ O (DK)	3	155,83 ^{ns}	3,34 ^{ns}	112,2 ^{ns}	232545,6 ^{ns}
Interação (C × FK × DK)	6	224,77 ^{ns}	6,09 ^{ns}	168,5 ^{ns}	440964,2 ^{ns}
Interação (C×FK)	2	189,93 ^{ns}	1,63 ^{ns}	53,76 ^{ns}	255300,2 ^{ns}
Interação (C × DK)	6	218,93 ^{ns}	3,33 ^{ns}	68,5 ^{ns}	7,85x10 ⁵ *
Interação (FK× DK)	3	126,75 ^{ns}	0,75 ^{ns}	68,52 ^{ns}	58057,16 ^{ns}
Resíduo	48	218,9	3,33	164,6	4,41x10 ⁵
CV(%)		10,79	14	14,10	20,20

CV (%) -coeficiente de variação; **significativo em 0,01 de probabilidade, *significativo em 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

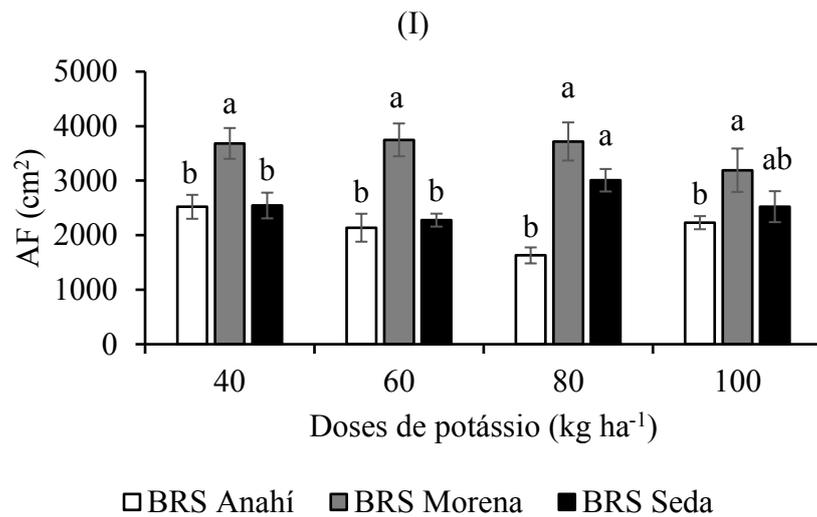
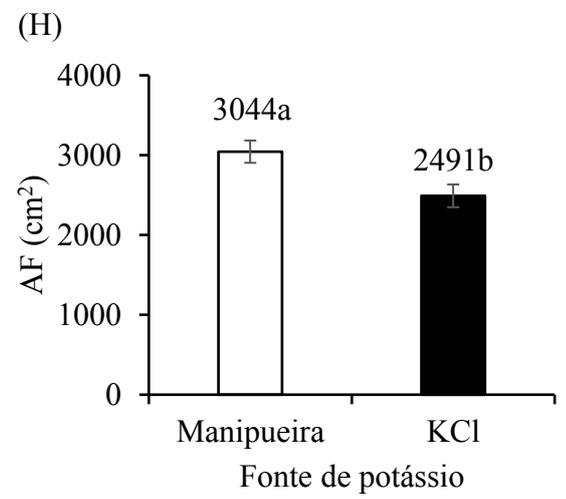
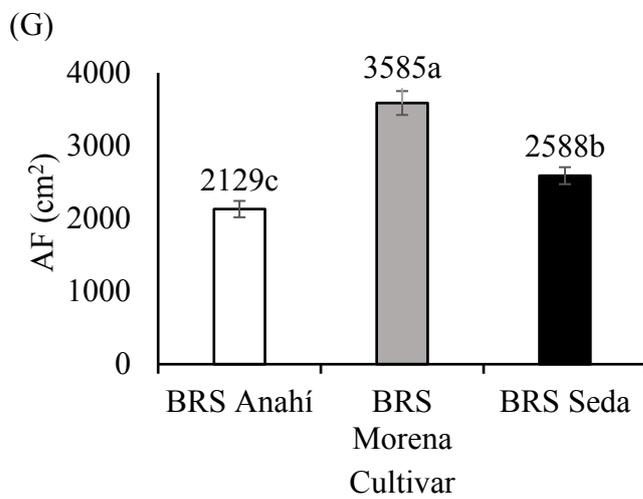
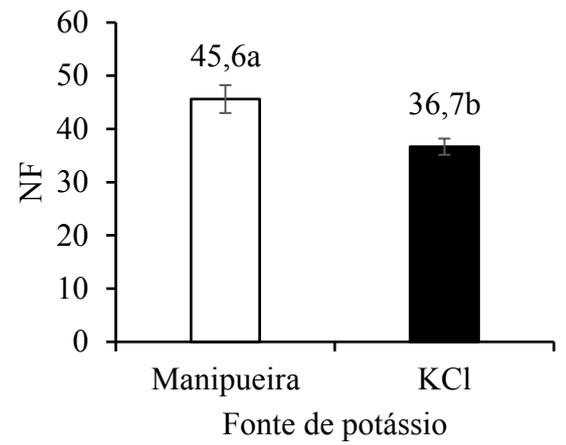
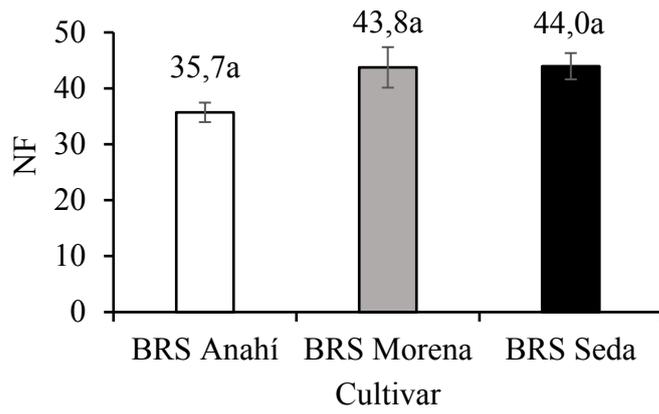
Aos 60 dias após a semeadura a BRS Morena e BRS Seda não diferiram de forma significativa em relação a AP, com valores de 138,5 e 139,4 cm, respectivamente. No entanto, a AP da BRS Anahí foi estatisticamente inferior com valor médio de 124 cm, o que representa uma diferença percentual de 12,4%, em relação às demais cultivares (Figura 4A). Para o DC destaca-se a BRS Morena, que difere de forma significativa das demais cultivares com diferença percentual média de 12% (Figura 4C). No que diz respeito ao NF (Figura 4E) as cultivares mostram-se análogas, não diferindo estatisticamente entre si.

Com relação a AF a cultivar BRS Morena demonstra diferença estatística das demais cultivares, representando o maior valor de área foliar com 3585 cm² (Figura 4G). Esse valor representa uma diferença média de 68,4% e 38,5% superior às cultivares BRS Anahí e BRS Seda, respectivamente. A BRS Anahí ainda demonstra disparidade significativa em relação a BRS Seda com área foliar 21,6% menor.



(E)

(F)



Médias seguidas por letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Barras na vertical representam o erro padrão da média ($n=3$).

Figura 4. Altura de planta – AP (A-B), diâmetro do caule – DC (C-D), número de folhas – NF (E-F) e área foliar – AF (G-I) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda aos 60 DAS sob diferentes fontes e doses de potássio

A manipueira como fonte de potássio diferiu estatisticamente do uso do cloreto de potássio (KCl) em todas as variáveis de crescimento do gergelim aos 60 DAS. Para as variáveis AP e DC (Figura 4B e 4D) os valores são expressivos, quando submetidas a fonte manipueira as plantas de gergelim obtiveram altura 11,3% superiores àquelas adubadas com KCl. Já em relação ao DC o valor foi 10,5% superior com o uso da manipueira. O NF e AF foram também impulsionados com a manipueira como fonte de potássio, apresentando assim diferença percentual de 24% e 22,2%, respectivamente, quando comparada a fonte KCl. Esses resultados concordam com os obtidos por Araújo et al. (2017), ao submeterem o feijão Vigna a associações de manipueira com urina humana observaram aumento na altura de planta, diâmetro caulinar, número de folhas, área foliar e nas fitomassas fresca e seca da parte quando comparada às plantas fertirrigadas com NPK aos 40 dias após a semeadura.

Observa-se, ainda, efeito significativo sobre a interação dos fatores (Cultivar \times Dose) para a variável área foliar (Figura 4I). Para a BRS Anahí a área foliar foi incrementada com o uso da dose de 40 kg ha⁻¹, com área foliar de 2520 cm², no entanto, com o aumento das doses de potássio foi observado a redução da área foliar. Já para a cultivar BRS Morena, as diferentes doses de potássio não demonstraram expressivas diferenças, sendo a dose de 60 kg ha⁻¹ responsável pela maior AF, com valor de 3748 cm². Em se tratando da BRS Seda a dose de 80 kg ha⁻¹ de potássio representa a maior área foliar, com 3007 cm². A ocorrência de interação revelou que os fatores de variação exercem efeitos distintos quando combinados sobre a variável estudada, sendo as respostas diferenciais das cultivares frente às doses de potássio.

O diferente requerimento de potássio notado nas três cultivares de gergelim pode ser explicado pela assimetria no hábito de crescimento das plantas. Conforme descrito pela Embrapa (2007), a BRS Seda possui porte médio alto e hábito de crescimento ramificado, a BRS Morena detém crescimento pouco ramificado e a BRS Anahí é uma cultivar não ramificada. Segundo Arriel et al. (2007), o gergelim extrai do solo os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio em quantidades elevadas que variam de acordo com a produção, o estado nutricional e a variedade utilizada.

Analisando a Tabela 6, observa-se efeito significativo das doses de potássio ($p \leq 0,05$) sobre a concentração interna de CO_2 (C_i) e a eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$) aos 47 DAS. A interação entre os fatores (Fonte \times Dose) promoveu influência significativa ($p \leq 0,05$) sobre a eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$) e eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$) das cultivares de gergelim sob diferentes fontes e doses de potássio

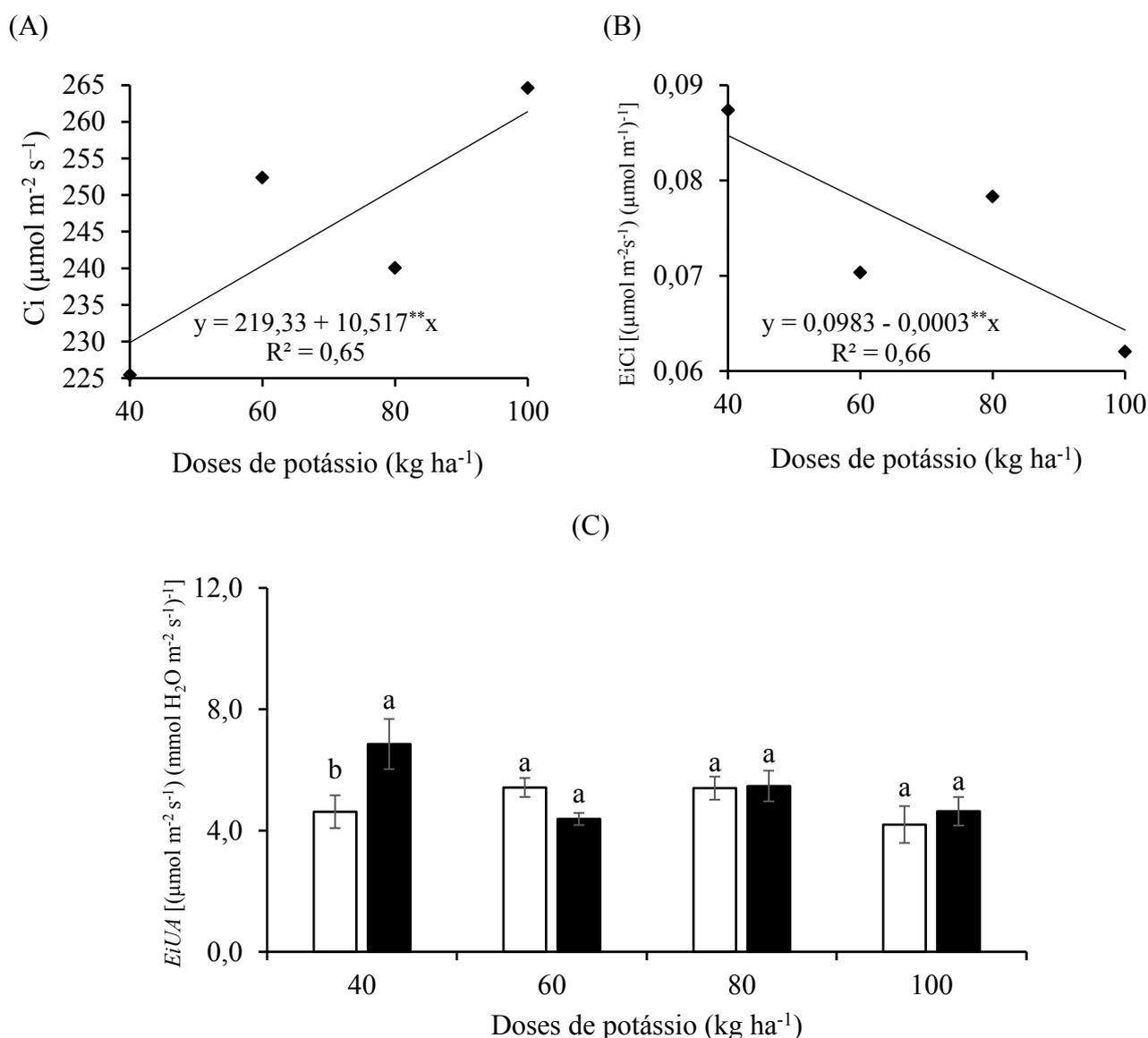
FV	Quadrados médios						
	GL	C_i	gs	E	A	$EiCi$	$EiUA$
Cultivar (C)	2	857,4 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,186 ^{ns}	2,79 ^{ns}	0,0009 ⁿ _s	2,57 ^{ns}
Fonte de K_2O (FK)	1	2701,1 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,075 ^{ns}	22,34 ^{ns}	0,001 ^{ns}	3,26 ^{ns}
Dose de K_2O (DK)	3	5066,9*	0,010 ^{ns}	0,221 ^{ns}	37,15 ^{ns}	0,0024*	6,13 ^{ns}
Reg. Linear	1	9954,02*	0,018 ^{ns}	0,123 ^{ns}	63,36 ^{ns}	0,004*	10,61 ^{ns}
Reg. Quadrática	1	25,68 ^{ns}	0,124 ^{ns}	0,124 ^{ns}	19,79 ^{ns}	1x10 ^{-6ns}	0,15 ^{ns}
Interação (C \times FK \times DK)	6	856,3 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,419 ^{ns}	9,81 ^{ns}	0,0004 ⁿ _s	1,89 ^{ns}
Interação (C \times FK)	2	1607,0 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,188 ^{ns}	19,02 ^{ns}	0,0009 ⁿ _s	3,15 ^{ns}
Interação (C \times DK)	6	860,6 ^{ns}	0,014 ^{ns}	1,184 ^{ns}	22,72 ^{ns}	0,0006 ⁿ _s	3,44 ^{ns}
Interação (FK \times DK)	3	1274,7 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,493 ^{ns}	38,10 ^{ns}	0,0015 ⁿ _s	8,29*
Resíduo	48	1067,9	0,010	0,739	22,29	0,00061	2,24
CV(%)		13,30	29,01	24,34	27,03	18,67	29,26

CV (%) -coeficiente de variação; **significativo em 0,01 de probabilidade, *significativo em 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

O aumento das doses de potássio proporcionou incremento na concentração interna de CO_2 , na qual os dados se ajustaram ao modelo linear (Figura 5A), com o maior valor de C_i (264,61 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) observado no uso da maior dose de potássio de 100 kg ha^{-1} representando aumento de 17,4% quando comparado a menor dose (40 kg ha^{-1}). A maior abertura dos estômatos é favorável a entrada de CO_2 no mesófilo foliar e como resultado tem-se o aumento da concentração interna como também da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013). Resultados semelhantes foram obtidos por Santos (2016), ao avaliar genótipos de gergelim adubados com solução organomineral a base de vinhoto de cana

de açúcar, obtendo valores máximos de C_i entre 191,5 e 204,0 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, para as cultivares BRS Seda e Preto, respectivamente. No que se refere as maiores doses de potássio proporcionarem os maiores valores de C_i , encontra-se analogia em Alvarenga et al. (2019), no qual avaliando o efeito de diferentes combinações de doses de nitrogênio e potássio sobre o crescimento e a fisiologia da aceroleira irrigada com águas salinas, também constataram que a maior concentração interna de CO_2 foi obtida a partir das maiores doses de nitrogênio e potássio.

Figura 5. Concentração interna de CO_2 – C_i (A), eficiência instantânea de carboxilação – E_iC_i (B) e eficiência instantânea no uso da água – E_iUA (C) das cultivares de gergelim sob diferentes fontes e doses de potássio



Médias seguidas por letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Barras na vertical representam o erro padrão da média ($n=3$).

No tocante a eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$) é possível visualizar a estreita relação deste parâmetro com a concentração interna de CO_2 (MACHADO et al., 2009). Os dados se ajustam no modelo linear (Figura 5B) e com o aumento das doses de potássio nota-se a redução da $EiCi$, isso se explica pela relação com a Ci , ao passo que a concentração interna de CO_2 aumenta ocorre a redução na $EiCi$. Observa-se a maior média $0,09 [(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\mu\text{mol m}^{-1})^{-1}]$ em função da menor dose de potássio 40 kg ha^{-1} . A $EiCi$ diz respeito à transformação de CO_2 em carbono na sua forma orgânica, demonstrando que o CO_2 fixado na célula (Ci) foi rapidamente aproveitado pelo metabolismo da planta. Segundo Taiz & Zeiger (2013), o aumento da $EiCi$ está correlacionado com a atividade da enzima rubisco (RuBP carboxilase-oxigenase), enzima chave da fotossíntese, que chega a representar cerca de 50% da proteína solúvel foliar.

Para a eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$) (Figura 5C), que representa a razão entre a quantidade de CO_2 assimilada e a água transpirada pela planta (TAIZ; ZEIGER, 2009), houve efeito significativo da interação entre os fatores (Fonte \times Dose), no qual nota-se maior $EiUA$ na dose de 40 kg ha^{-1} fazendo uso do KCl como fonte de potássio, com valor de $6,85 [(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$, quando comparada a mesma dose utilizando a manipueira como fonte é notada redução média de 48,3%. Pode-se inferir que o gergelim se mostra mais eficiente no uso da água disponível quando adubado com menores doses de potássio tendo como fonte o KCl. Para as plantas adubadas com manipueira como fonte de potássio não se nota grande variação entre as doses crescentes, sendo as doses de 60 kg ha^{-1} detentora do maior valor $5,42 [(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}]$, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

1. As cultivares BRS Morena e BRS Seda demonstram os melhores resultados de emergência e crescimento em comparação a BRS Anahí.
2. O uso de manipueira tratada como fonte de potássio proporcionou maiores incrementos em todas as variáveis de crescimento analisadas.
3. A manipueira tratada não compromete a concentração interna de CO_2 e a eficiência instantânea da carboxilação. Já a eficiência instantânea no uso da água é favorecida com o uso do cloreto de potássio como fonte de potássio em sua menor dose de 40 kg ha^{-1} .

4. A manipueira tratada apresenta potencialidade para compor uma adubação combinada com fertilizante mineral, sendo utilizada como fonte de potássio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, C. F. S.; SILVA, E. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; SILVA, L. A. Morfofisiologia de aceroleira irrigada com águas salinas sob combinações de doses de nitrogênio e potássio. *Revista de ciências agrárias*, v.42, p. 195-205, 2019.
- APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 21st ed. Washington DC: APHA, 2005.
- ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A. DE.; ANDRADE, E. M. G.; OLIVEIRA, S. J. C.; CARDOSO, J. A. F.; SENA, L. F. Crescimento inicial de feijão Vigna fertirrigado com urina humana e manipueira. *Revista Espacios, Caracas*, v.38, n. 13, p.21-31, 2017.
- ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P. T.; BELTRÃO, N. E. M.; SOARES, J. J.; ARAÚJO, A. E.; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. A cultura do gergelim. *Embrapa Informação Tecnológica*, p. 72, 2007.
- DANTAS, M. S. M.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; BEZERRA NETO, E.; SILVA, G. F.; SILVA, E. F. F. Accumulation of macronutrients in different parts of sunflower fertilized with cassava wastewater. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 7, p. 630-636, 2016.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Gergelim- Cultivares de Gergelim da Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cultivar/gergelim>. Acesso em: 14 de jan. 2022.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª ed. Brasília – DF: Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro – RJ: Embrapa Solos, p. 412, 2006.
- EMBRAPA. Cultivo do gergelim no Brasil cresce 230% em um ano. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64027841/cultivo-do-gergelim-no-brasilcresce-230-em-um-ano>; Acessado em: 01 de março de 2022.

- EUBA NETO, M.; PEREIRA, W. E.; SOUTO, J. S.; ARRIEL, N. H. C. Crescimento e produtividade de gergelim em Neossolo Flúvico em função de adubação orgânica e mineral. *Revista Ceres*, v. 63, n.4, p. 568-575, 2016.
- FAO. Food and Agriculture Organization of United Nations. Crops. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 27 out. 2021.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019.
- JAKUSKO, B. B.; USMAN, B. D. Effects of NPK fertilizer and plant population density on productivity of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Research Journal of Agricultural and Environmental Management*, v. 2, p.121-126, 2013.
- LAURENTIN, H.; BENÍTEZ, T. Inheritance of seed coat color in sesame. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 4, p. 290-295, 2014.
- LUCENA, A. M. A.; CAVALCANTI, N. T.F.; FARIAS, A. L.; SANTOS, K. S.; ARRIEL, N. H. C.; ALBUQUERQUE, F. A. Qualidade de sementes de gergelim colhidas de frutos em diferentes estádios de maturação. *Scientia plena*, v. 9, 2013.
- MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficithídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.12, p.1575-1582, 2009.
- MAGALHÃES, A. G.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. S.; NETO, E. B.; TABOSA, J. N.; PEDROSA, E. M. R. Desenvolvimento inicial do milho submetido à adubação com manípueira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 7, p. 675-681, 2014.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, Madison*, v. 2, n. 2, p.176-77, 1962.
- NAJARIAN, A.; SOURI, M. K. Influence of sugar cane compost as potting media on vegetative growth, and some biochemical parameters of *Pelargonium× hortorum*. *Journal of Plant Nutrition*, v. 43, p. 2680-2684, 2020.

- PONTE, J. J. Da. Cartilha de manipueira: uso do composto como insumo agrícola. Banco do Nordeste do Brasil, p.66, 2006.
- ROMANIW, J.; SÁ, J. C. M.; PADILHA, A. A.; RAMOS, F. S.; EURICH, G.; BRESSAN, P. T. Carbon dynamics in no-till soil due to the use of industrial organic waste and mineral fertilizer. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 3, p. 477- 487, 2015.
- SANTOS, S. S. Crescimento, fisiologia e produção de genótipos de gergelim sob níveis de adubação organomineral. Dissertação de mestrado, 77p., 2016.
- SHABALA, S.; POTTOSIN, I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiologia plantarum*, v. 151, n. 3, p. 257-279, 2014.
- SILVA, L. C.; SANTOS, J. W.; VIEIRA, D. J.; BELTRÃO, N. E. DE M.; ALVES, I.; JERÔNIMO, J. F. Um método simples para se estimar área foliar de plantas de gergelim (*Sesamum indicum* L.). *Revista de Oleaginosas e Fibrosas*, v.6, n.1, p.491-496, 2002.
- SILVA, M. R. B.; SANTOS, J. M. R.; SANTOS, M. L. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA, A. R. Desenvolvimento do gergelim BRS Seda submetido a diferentes níveis de disponibilidade de água e adubo orgânico. XI Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, p. 191-196, 2016.
- SOUSA, G. G.; FIUSA, J. N.; LEITE, K. L.; SOARES, S. C.; SILVA, G. L. Água salinae biofertilizante de esterco bovino na cultura do gergelim. *Revista Agropecuária Técnica*, v.38, n. 3, p. 116-125, 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 819p., 2009.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5a ed. Porto Alegre, Artmed, 954p, 2013.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W, G. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, p. 573, 2017.
- WANG, Y.; L. I, B.; DU, M.; ENEJI, A. E.; WANG, B.; DUAN, L.; LI, Z.; TIAN, X. Mechanism of phytohormone involvement in feedback regulation of cotton leaf

senescence induced by potassium deficiency. *Journal Experimental Botany*. 63, 5887–5901. 2012.

WEN, Z. H.; SHEN, J. B.; MARTIN, B.; LI, H. G.; ZHAO, B. Q.; YUAN, H. M. Combined applications of nitrogen and phosphorus fertilizers with manure increase maize yield and nutrient uptake via stimulating root growth in a long-term experimente. *Pedosphere*, v. 26, p. 62-73, 2016.

CAPÍTULO III

PRODUÇÃO E ACÚMULO DE FITOMASSA DE CULTIVARES DE GERGELIM SOB FONTES E DOSES DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA

PRODUÇÃO E ACÚMULO DE FITOMASSA DE CULTIVARES DE GERGELIM SOB FONTES E DOSES DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA

RESUMO

Ofertar uma destinação correta aos efluentes líquidos industriais preserva o meio ambiente e pode gerar economia na área agrícola. A manipueira destaca-se por ser um efluente líquido da casa de farinha muito rico em nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, em especial o potássio, possibilitando a substituição da fonte mineral de potássio e a redução dos custos de produção. Diante de exposto, objetivou-se, com este estudo, avaliar o efeito da adubação orgânica e mineral de potássio em cultivares de gergelim, através dos componentes de produção e acúmulo de fitomassa. O estudo foi conduzido sob condições de casa de vegetação, em Campina Grande – PB, utilizando-se delineamento experimental inteiramente casualizado e esquema fatorial (3×4×2) sendo três cultivares de gergelim (BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda), quatro doses de potássio (40, 60, 80 e 100 kg ha⁻¹) e duas fontes (manipueira e cloreto de potássio), com três repetições e uma planta por parcela. A manipueira como fonte de potássio proporcionou os maiores valores para todas as variáveis de produção em comparação ao cloreto de potássio. A BRS Seda apresentou as maiores médias de produção para massa de frutos total por planta, massa de sementes total e massa de mil sementes. O acúmulo de biomassa seca também foi favorecido pelo uso da manipueira e, a BRS Morena obteve os melhores resultados para esses parâmetros em relação às demais cultivares. Como fonte de potássio a manipueira é promissora no aumento da produção e biomassa seca do gergelim.

Palavras-chave: *Sesamum indicum* L., adubação organomineral, efluente líquido.

PRODUCTION AND ACCUMULATION OF PHYTOMASS OF SESAME CULTIVARS UNDER POTASSIUM FERTILIZER SOURCES AND DOSES

ABSTRACT

Offering a correct destination to industrial liquid effluents preserves the environment and can generate savings in the agricultural area. Cassava wastewater stands out for being a liquid effluent from the flour mill very rich in essential nutrients for plant development, especially potassium, enabling the replacement of the mineral source of potassium and reducing production costs. In view of the above, the objective of this study was to evaluate the effect of organic and mineral potassium fertilization on sesame cultivars, through the production components and phytomass accumulation. The study was conducted under greenhouse conditions, in Campina Grande - PB, using an experimental design entirely randomized and factorial scheme ($3 \times 4 \times 2$) with three sesame cultivars (BRS Anahí, BRS Morena and BRS Seda), four doses of potassium (40, 60, 80 and 100 kg ha⁻¹) and two sources (cassava wastewater and potassium chloride), with three repetitions and one plant per plot. Cassava wastewater as a source of potassium provided the highest values for all production variables compared to potassium chloride. BRS Seda presented the highest production averages for total fruit mass per plant, total seed mass and thousand seed mass. The accumulation of dry biomass was also favored by the use of cassava wastewater and BRS Morena obtained the best results for these parameters in relation to the other cultivars. As a source of potassium, cassava wastewater is promising to increase the production and dry biomass of sesame.

Key-words: *Sesamum indicum* L., organo-mineral fertilization, liquid effluent.

1. INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) possui diversas possibilidades de exploração, apresentando elevado potencial econômico em especial pelo seu alto valor nutritivo (EMBRAPA, 2008; LIU et al., 2020). No Brasil, para a safra 2021/2022 estima-se uma área de 143,5 mil hectares e produção de 78,5 mil toneladas de gergelim (CONAB, 2022). Suas sementes são ricas em óleos de elevada qualidade e com aplicações diversas devido às suas propriedades antioxidantes, provenientes das substâncias sesamolina, sesamol e sesamina presentes em sua composição (FERREIRA, 2017; EMBRAPA, 2014).

Assim, tem sido amplamente utilizado como fonte de óleo comestível, devido aos altos teores de óleo (44 a 58%) e abundância em ácidos graxos saturados, proteínas e vitaminas (TENYANG et al., 2017; CRUZ et al., 2019). No entanto, para obter grande produtividade é necessário que as exigências nutricionais do gergelim sejam completamente satisfeitas, de tal forma que a alta extração de nutrientes seja atendida (CHAVES et al., 2017).

Em razão dessa grande exigência nutricional das culturas o uso de fontes orgânicas para possibilitar o seu crescimento e produção torna-se uma alternativa economicamente viável e sustentável (BATISTA, 2019). Como consequência, vários estudos vêm sendo desenvolvidos buscando o reuso de efluentes líquidos na agricultura como fonte alternativa de nutrição das culturas e destinação final adequada desses resíduos (CAMPOS, ARAÚJO, 2019; RAMOS, et al (2020); SANTOS et al., 2020; JESUS et al., 2020). Como é o caso da manipueira, efluente líquido da indústria de processamento de mandioca e importante fonte de potássio como também de outros macros e micronutrientes podendo ser utilizada como um potencial fertilizante na agricultura (ARAÚJO, 2017; EMBRAPA, 2011).

No entanto, os fertilizantes orgânicos são supressores de proporções e quantidades fixas de nitrogênio, fósforo e potássio, necessitando, por vezes, de complementação com fontes minerais (SOUSA et al., 2012). A utilização de fertilizantes organominerais, que representa a combinação de fertilizantes orgânicos e minerais, fornece os nutrientes de maneira gradual, diminuindo os custos e evitando perdas para o ambiente (FERNANDES et al., 2020). Essa combinação faz com que a matéria orgânica presente nos adubos orgânicos concomitante aos nutrientes minerais facilite a absorção destes e auxilie no transporte de fotoassimilados elaborados pela própria planta (ALMEIDA et al., 2019).

Nesta perspectiva, considerando o alto valor nutricional da maniveira e a expansão na produção do gergelim, objetivou-se, com este estudo, a avaliar o efeito da adubação orgânica e mineral de potássio em cultivares de gergelim, através dos componentes de produção e acúmulo de fitomassa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de agosto e outubro de 2021, em ambiente protegido (casa de vegetação) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Campina Grande, PB, cujas coordenadas geodésicas são 07° 15' 18'' S, e 35° 52' 28'' O e altitude de 550 m. Possui um clima com temperaturas mais moderadas: Tropical com estação seca do tipo As, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (AZEVEDO et al, 2015). Os dados de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental estão dispostos na Figura 1.

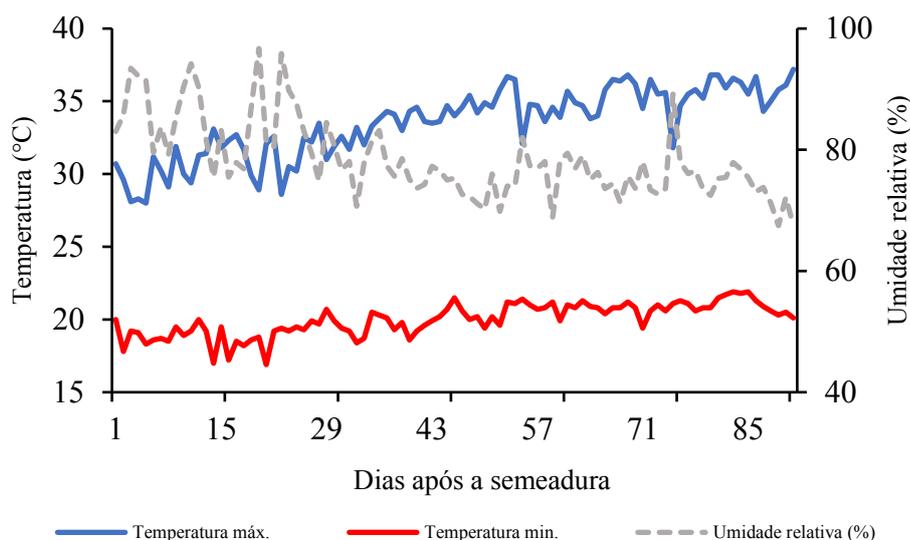


Figura 1. Temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar da área interna da casa de vegetação durante o período experimental

Os tratamentos consistiram de três cultivares de gergelim (BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda) adubados com duas fontes de potássio (maniveira tratada e cloreto de potássio), quatro doses crescentes (40, 60, 80 e 100 kg ha⁻¹ de K₂O), em arranjo fatorial 3×4×2, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e uma planta por parcela. As doses de potássio aplicadas corresponderam aproximadamente a 65, 100, 130 e 160% da necessidade da cultura de 60 kg ha⁻¹ de K₂O, conforme recomendação de Arriel et al. (2007). As doses de potássio de 40, 60, 80 e 100 kg ha⁻¹ de

K₂O corresponderam a aplicação de 303,6, 455, 607 e 758,9 ml de manipueira tratada por vaso. A manipueira tratada foi diluída na proporção de 1:1 para aplicação via fundação conforme recomendado em Ponte (2006). A adubação de fundação consistiu na aplicação de toda a dose diretamente no solo quinze dias antes da semeadura.

A manipueira foi coletada em uma casa de farinha, localizada no distrito de Jenipapo, município de Puxinanã-PB e passou por um tratamento que consistiu de uma biodigestão anaeróbia, por período de 90 dias. Após o tratamento, uma amostra de 0,5 L foi coletada e encaminhada para o Laboratório de Saneamento da UFCG para realização das análises físico-químicas da manipueira biodigerida seguindo a metodologia proposta pela Standard Methods for Wastewater (APHA, 2005) (Tabela 1).

Tabela 1. Características físico-química da manipueira biodigerida

Parâmetros						
pH	CE (mS cm ⁻¹)	PO ₄ ⁻³ (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)	N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	Ca+Mg (mgCaCO ₃ L ⁻¹)
3,6	13,68	139,8	1.120,0	671,0	2,82	6.950,0

pH -Potencial hidrogeniônico; CE -Condutividade elétrica; PO₄-3-Ortofosfato; K -Potássio; Na -Sódio, N-NO₃ – Nitrato, e Ca+Mg -Dureza total.

A adubação foi estimada através da recomendação descrita por Arriel et al. (2007) para cultivo do gergelim, sendo aplicados 50 kg ha⁻¹ de N e 14 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A fonte de nitrogênio foi o sulfato de amônio (20% de N e 22% de enxofre) e de fósforo o fosfato monoamônico (54% de P₂O₅ e 12% de N). Os fertilizantes foram fracionados em três partes e aplicados via fertirrigação.

Utilizou-se sementes das cultivares BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda devido aos seus altos rendimentos, uniformidade de plantas e de sementes e a boa adaptação ao clima da região semiárida. A cultivar de gergelim BRS Anahí apresenta haste de coloração verde-escura, porte mediano, ciclo de 90 dias, hábito de crescimento não ramificado, floração aos 39 dias e três frutos por axila foliar. As sementes têm coloração esbranquiçada, peso médio de 4,22 mg e teor de óleo variando de 50 a 52%. Apresenta tolerância à murcha de macrofomina, mancha angular e cercosporiose (EMBRAPA, 2015). Já a BRS Morena é uma cultivar de coloração marrom avermelhada, com uso focado no mercado gourmet. A cultivar apresenta alta produtividade de grãos e teor de óleo superior a 50%, seu potencial produtivo é de cerca de 980 kg ha⁻¹ em regime de sequeiro e 1.800 kg ha⁻¹ em sistema irrigado. Seu hábito de crescimento é pouco ramificado, permitindo uma densidade populacional até três vezes superior às cultivares

ramificadas, apresentando ainda, tolerância às principais doenças que atacam a cultura do gergelim (EMBRAPA, 2020). Já a cultivar BRS Seda possui sementes de cor branca, alto valor comercial, com uso nas indústrias alimentícias e de confeitarias. Em condições ideais de solo, água e manejo da planta, a BRS Seda pode atingir uma produtividade de até 2.500 kg ha⁻¹. A cultivar é tolerante à mancha angular, cercosporiose e à murcha de macrophomina (EMBRAPA, 2007).

As sementes de gergelim, doadas pela Embrapa Algodão, foram semeadas manualmente, em sulcos de 10 cm de diâmetro e 2 cm de profundidade, utilizando vinte sementes por vaso. Após a emergência das plântulas, foi feito desbaste em duas etapas, quando as plantas estavam com dois e três pares de folhas definitivas, aos 15 e 30 dias após o semeio (DAS) respectivamente, deixando-se uma planta por vaso, a mais vigorosa.

Foram utilizados vasos plásticos de 20 L de capacidade, para a drenagem foi realizada a perfuração na extremidade inferior de cada vaso, neste orifício foi acoplado um dreno transparente flexível para realizar a drenagem. Em cada orifício, foi colocada uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30), com o objetivo de impedir o entupimento do mesmo. Acima da manta geotêxtil foi posta uma camada de 0,5 kg de brita nº 1, e logo em seguida 33 kg de solo. O solo utilizado foi coletado no município de Puxinanã-PB e foi classificado como Litólico Eutrófico (EMBRAPA, 2006) de textura franco-arenosa, cujas características químicas e físicas (Tabela 2) foram obtidas conforme a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento

Características químicas									
pH (H ₂ O)	M. O.	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺ + H ⁺	PS T	CEes
(1:2,5)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(cmolc kg ⁻¹)				(%)	(%)	(dS m ⁻¹)
5,48	0,36	2,03	0,46	1,47	3,62	1,25	4,88	1,4 7	0,51
Características físico-hídricas									
Fração granulométrica (dag kg ⁻¹)	Classe textural	Umidade (%)	AD	Porosidade total %	DA	DP			

Areia	Silte	Argila		0,33 atm	0,15 atm				
83,41	6,04	10,55	FA	12,58	4,95	7,63	43,28	$\frac{1,5}{2}$	2,68

M.O. – Matéria orgânica: Digestão Úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Al³⁺ e H⁺ extraídos com acetato de cálcio 1 mol L⁻¹ pH 7,0; PST- Percentagem de sódio trocável; CEes – Condutividade elétrica do extrato de saturação; AF – Franco Arenoso; AD – Água disponível; DA- Densidade aparente; DP- Densidade de partículas.

Após a semeadura, a irrigação foi realizada diariamente às 7hs, aplicando-se em cada recipiente, o volume correspondente ao obtido pelo balanço de água. Este volume de água aplicado nas plantas foi determinado conforme a Eq. 1:

$$VI = \frac{VA - VD}{1 - FL} \quad (1)$$

Em que: VI: volume de irrigação (mL);

VA: volume aplicado (mL);

VD: volume drenado (mL) e,

FL: fração de lixiviação de 0,15, aplicada a cada 30 dias para evitar acumulação excessiva de sais.

Durante a condução do experimento, foram realizados tratamentos culturais como capina, escarificação do solo e controle fitossanitário preconizados para a cultura, monitorando o surgimento de pragas e doenças, adotando-se medidas de controle quando necessário.

Ao final do ciclo foram mensuradas as variáveis de produção: Altura de inserção do primeiro fruto em cm (AIPF) - medido com auxílio de uma trena de 2 m; número de frutos (NF) - número total de frutos por planta, obtido por meio de contagem direta de todos os frutos produzidos por cada unidade experimental; massa de frutos total por planta (MFR) – obtido por meio da pesagem dos frutos após colheita final; massa de sementes total em g (MS) - massa das sementes de cada unidade experimental quantificada por meio de pesagem em balança analítica com precisão de 0,001 g; e massa de mil sementes em g (MS₁₀₀₀) – massa de 1000 sementes de cada unidade experimental quantificada por meio de pesagem em balança analítica com precisão de 0,001 g.

Para a obtenção da biomassa seca, a haste de cada planta foi cortada rente ao solo e imediatamente separada em partes distintas (caule, folha e raiz), em seguida foram embaladas em saco de papel. Posteriormente, cada parte foi seca em estufa com

ventilação forçada de ar à temperatura de 65 °C até a obtenção de peso constante. O material foi então pesado em balança analítica, obtendo-se as respectivas biomassas: massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSP_A) e massa seca da raiz (MSR).

Os dados coletados passaram pelo teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 0,05 de probabilidade. Em seguida, foram submetidos à análise de variância e nos casos de significância foi realizada análise de regressão linear e quadrática para as fontes de variação quantitativas (doses de potássio), a escolha do modelo de regressão (linear ou quadrática) foi feita pela significância dos coeficientes pelo teste F e pelo coeficiente de determinação (R^2) e as fontes de variação qualitativas (fonte de potássio e cultivares de gergelim) foram comparadas pelo teste de Tukey a um nível de probabilidade de 0,05 e 0,01 por meio software estatístico SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se efeito significativo ($p \leq 0,01$) das cultivares sobre as variáveis altura de inserção do primeiro fruto (AIPF) e a massa de mil sementes (MS_{1000}), e a ($p \leq 0,05$) sobre a massa de frutos por planta (MF_R) e massa de sementes total (MS). As fontes de potássio (manipueira e KCl) proporcionaram diferença significativa ($p \leq 0,01$) sobre o número de frutos (NF) e MF_R e a ($p \leq 0,05$) sobre MS. A interação entre os fatores (Cultivar \times Fonte) influenciou significativamente a MF_R e a interação (Cultivar \times Dose) a MS e MF_R a nível de probabilidade ($p \leq 0,05$) das cultivares de gergelim (Tabela 3). As doses de potássio, não afetaram significativamente nenhuma das variáveis analisadas.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente ao número de frutos (NF), altura de inserção do primeiro fruto (AIPF), massa dos frutos por planta (MF_R), massa de sementes total (MS) e massa de mil sementes (MS_{1000}) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda sob diferentes fontes e doses de potássio

Fonte de variação	Quadrados médios					
	GL	NF	AIPF	MF_R	MS	MS_{1000}
Cultivar (C)	2	1120,1 ^{ns}	5732,4*	153,1**	50,1**	5,7*
Fonte de K ₂ O (FK)	1	8342,0*	240,2 ^{ns}	1171,2*	154,9**	0,02 ^{ns}
Dose de K ₂ O (DK)	3	159,7 ^{ns}	185,0 ^{ns}	42,7 ^{ns}	13,1 ^{ns}	0,27 ^{ns}

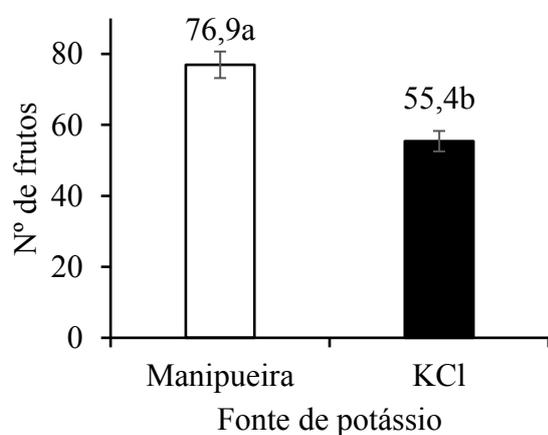
Interação (C × FK × DK)	6	384,1 ^{ns}	213,9 ^{ns}	36,5 ^{ns}	9,9 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Interação (C×FK)	2	113,5 ^{ns}	91,5 ^{ns}	134,9 ^{**}	24,3 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Interação (C × DK)	6	355,6 ^{ns}	147,4 ^{ns}	97,2 ^{**}	29,8 ^{**}	0,59 ^{ns}
Interação (FK×DK)	3	614,9 ^{ns}	457,9 ^{ns}	33,1 ^{ns}	24,3 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	48	393,02	266,89	36,18	11,33	0,13
CV(%)		14,89	15,17	24,1	15,7	10,27

FV –Fonte de variação; CV (%) -coeficiente de variação; **significativo em 0,01 de probabilidade, *significativo em 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

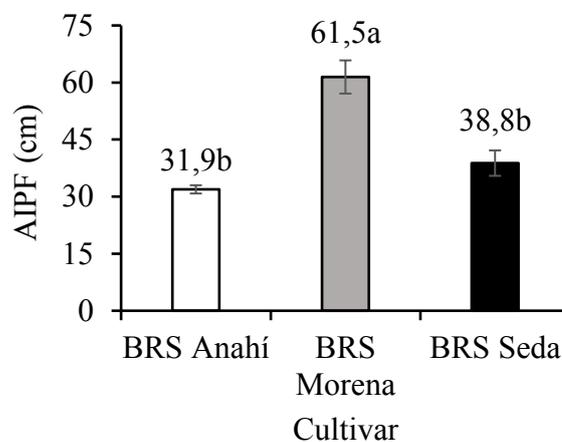
A manipueira como fonte de potássio proporcionou a maior média para número de frutos (Figura 1A), com diferença percentual média de 38,8% em comparação às plantas de gergelim adubadas com KCl como fonte de potássio. Segundo Bharathi et al. (2014), o uso de biofertilizante amplia o número de frutos por planta, resultado da melhor absorção dos nutrientes pela cultura e da rápida translocação.

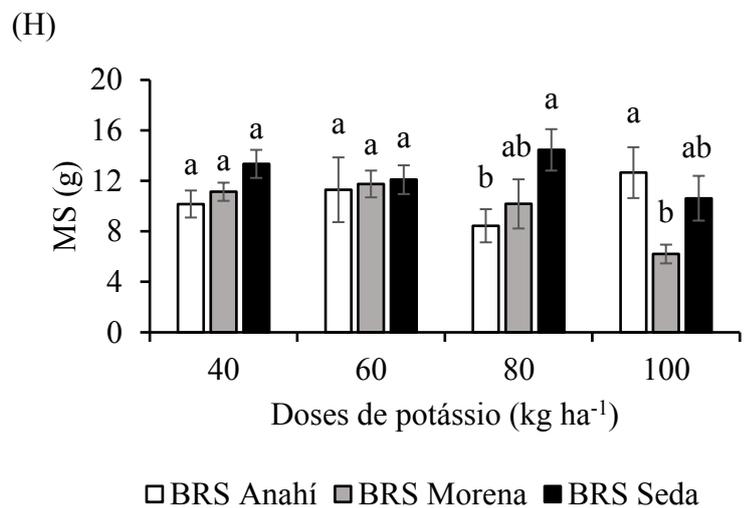
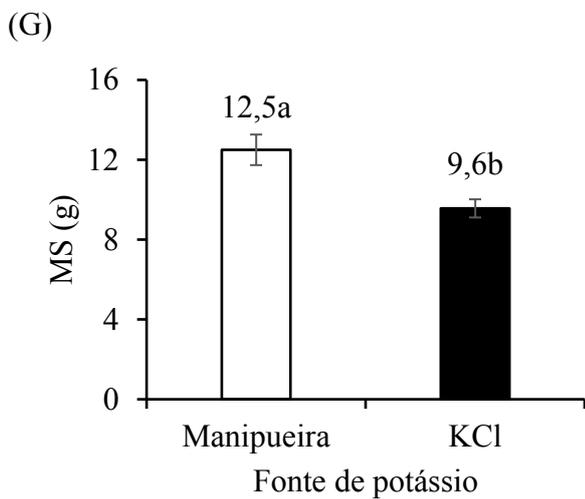
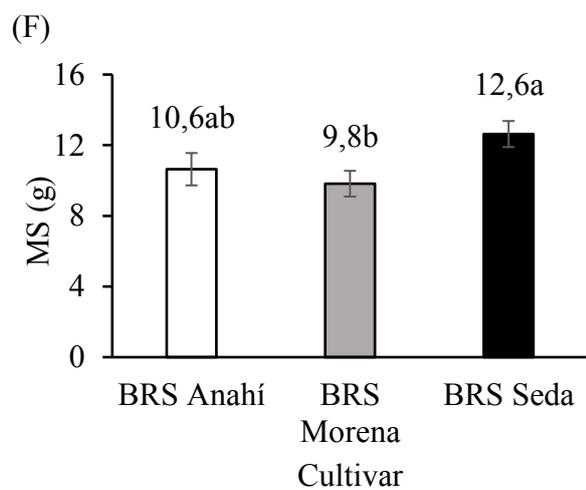
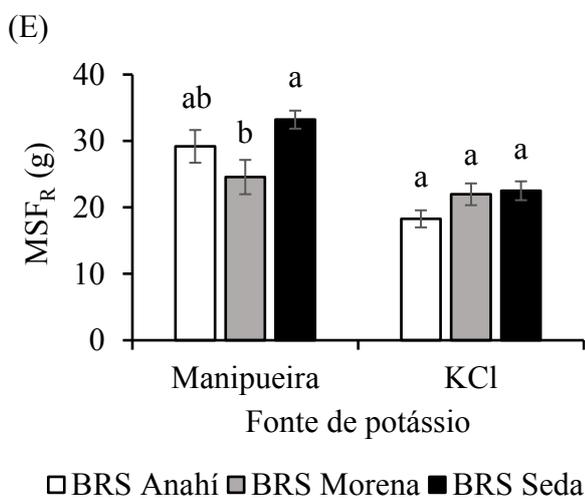
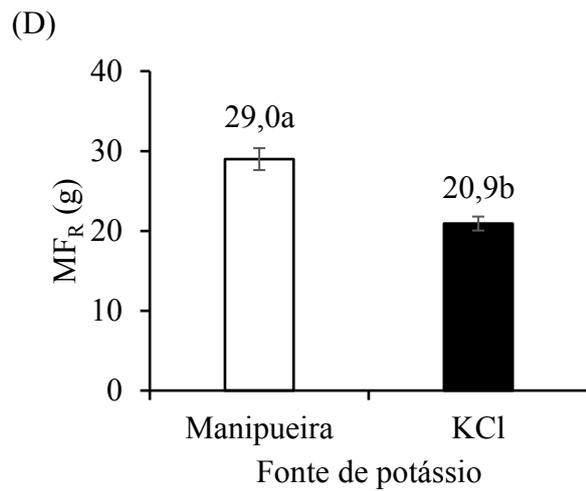
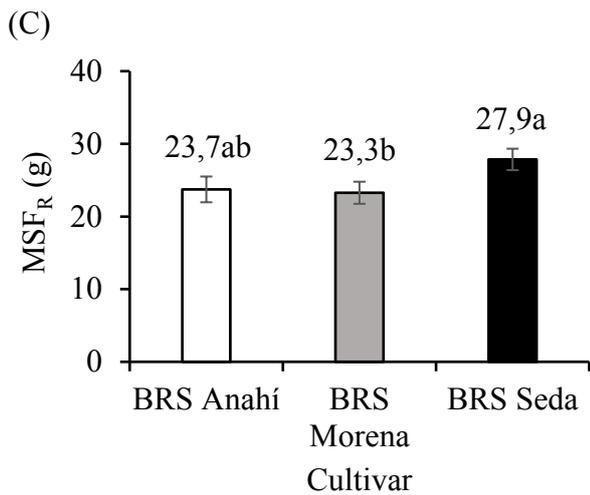
No que diz respeito à altura de inserção do primeiro fruto (AIPF), a BRS Morena diferiu estatisticamente das cultivares BRS Anahí e BRS Seda, com AIPF de 61,5 cm, que corresponde a uma diferença percentual média de 58,5% em relação a BRS Seda e 92,8% da BRS Anahí (Figura 2B). Esse resultado assemelha-se ao obtido por Furtado et al. (2017), que destacou altura média de inserção do primeiro fruto de 60,48 cm para cultivares de gergelim em consórcio com mamoneira em condições do semiárido nordestino. A AIPF é uma característica que possui variação de cultivar para cultivar e representa grande importância para a colheita mecanizada (BELTRÃO et al., 2001) como também para a colheita manual, já que caracteriza a altura na qual se faz o corte da planta (QUEIROGA et al., 2010). Outra grande importância da AIPF está ligada a caracterização no banco ativo de germoplasma (BAG), uma vez que a altura de inserção do primeiro fruto está relacionada com a altura da planta (ARRIEL et al., 2009).

(A)

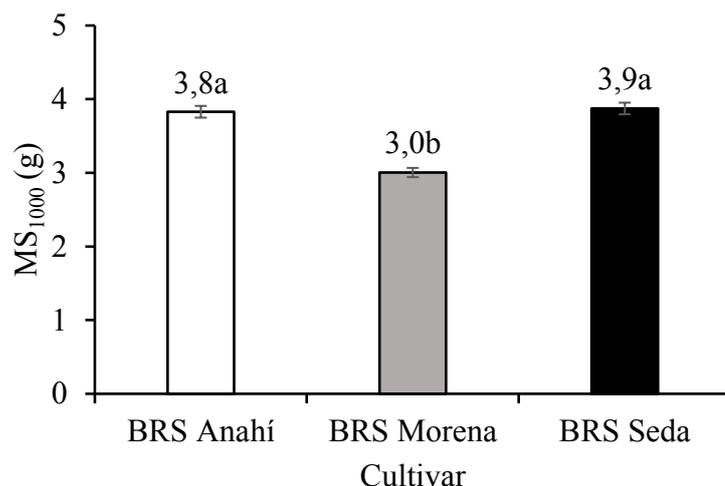


(B)





(I)



Médias seguidas por letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Barras na vertical representam o erro padrão da média ($n=3$).

Figura 2. Número de frutos (NF) (A), altura de inserção do primeiro fruto (AIPF) (B), massa dos frutos por planta (MF_R) (C-E), massa de sementes total (MS) (F-H) e massa de mil sementes (MS_{1000}) (I), das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda sob diferentes fontes e doses de potássio

Para a variável massa de frutos por planta (MF_R) a BRS Seda diferiu significativamente da BRS Morena (Figura 2C), com valor médio por planta de 27,9 gramas, representando uma diferença média percentual de 19,7% superior à BRS Morena. No entanto, a BRS Anahí não difere estatisticamente das demais cultivares, com MF_R de 23,7 g. A manipueira promoveu incremento da massa de frutos por planta (Figura 2D), resultando em valor médio de 29,0 g, correspondendo a uma diferença percentual de 38,8% superior a adubação com KCl. Esses resultados são superiores ao obtido por Lira et al. (2014), ao analisarem métodos agroecológicos para o cultivo do gergelim obtiveram peso de fruto por planta de 21,85 gramas para o gergelim adubado com diferentes fontes orgânicas. Diferem, no entanto, dos resultados obtidos por Cruz et al. (2013), no qual não obtiveram respostas significativas no uso de torta como adubação residual do gergelim para as variáveis de produção, peso dos frutos e peso das sementes.

A BRS Seda mostrou melhor adaptação ao uso de manipueira como fonte de potássio (Figura 2E), com massa média de frutos por planta de 33,2 gramas, 35% superior à BRS Morena, que demonstra menor incremento quando submetida ao uso de manipueira. Esses valores, são inferiores aos obtidos por Santos et al. (2019), em que a BRS Seda alcançou peso médio de frutos por planta igual a 50,32 g, quando adubada com biofertilizante a base de vinhoto de cana-de-açúcar como solução organomineral a 120%

da exigência nutricional da cultura. No entanto, vale destacar que as três cultivares têm seus valores de MF_R reduzidos quando adubadas com KCl como fonte de potássio. Por exemplo, confrontando a MF_R da BRS Seda adubada com manipueira como fonte de potássio e a mesma cultivar adubada com KCl, tem-se uma diferença média percentual de 47,5%, o que infere o uso da manipueira como fonte mais eficiente ao fornecimento de óxido de potássio (K_2O) ao gergelim.

Referente a massa de sementes total por planta (MS) (Figura 2F), a BRS Seda diferiu de forma significativa das demais cultivares, com massa média de sementes de 12,6 g, representando diferença média percentual de 28,6% em relação a BRS Morena, que detém o menor valor de MS, com 9,8 g. Esses valores corroboram com os obtidos por Ribeiro et al. (2020), para as cultivares BRS Seda e BRS Anahí quando submetidas ao estresse hídrico e doses de biofertilizante, obtiveram massa de semente de 12 e 11 gramas, respectivamente, quando irrigadas com lâmina de 100% em consonância com biofertilizante. Em relação a fonte de potássio (Figura 2G), a manipueira detém os maiores valores, com massa de semente média por planta de 12,5 gramas, superior a 30,2% quando comparada às plantas adubadas com KCl como fonte de potássio.

Santos et al. (2019), também observaram maior incremento da massa de sementes de gergelim BRS Seda e Preto, quando utilizada adubação organomineral, com aumento de 11,83 g para a BRS Seda e 13,34 g para cultivar Preto, respectivamente, com o uso de 120% de adubação organomineral. Os resultados obtidos nesse estudo diferem dos alcançados por Silva et al. (2016), quando não foi verificado efeito significativo da fertirrigação com solução organomineral no peso das sementes, peso de mil sementes e número de ramos para a cultura do gergelim. Segundo Viana et al. (2013), o incremento promovido a massa de semente está ligado ao efeito positivo do uso de adubação orgânica com biofertilizante, que atua estimulando a liberação de nitrogênio, carbono e aumenta a porcentagem de capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e o favorecimento da absorção de nutrientes pela planta.

Alusivo à interação Cultivar \times Dose, as doses de 40 e 60 $kg\ ha^{-1}$ de potássio não refletiram diferença significativa entre as cultivares para a variável massa de sementes total por planta (Figura 2H). No entanto, a dose de 80 $kg\ ha^{-1}$ de potássio foi responsável por promover os maiores valores de MS à BRS Seda, a qual difere estatisticamente da BRS Anahí, com média percentual de 72,6% superior. Observando-se ainda a figura 2H é possível notar que a MS da BRS Morena diminui ao passo que se eleva a dose de potássio a partir dos 80 $kg\ ha^{-1}$, isto é, com o uso da dose de 60 $kg\ ha^{-1}$ foi obtido o maior

valor de massa de sementes por plantas, representado por 11,8 gramas, ocorrendo redução de 90,3% dessa variável, com o incremento da dose de 100 kg ha⁻¹ de potássio. Contudo, a dose de 100 kg ha⁻¹ promoveu incremento a MS para a BRS Anahí, resultando em 12,7 g de sementes por planta (Figura 2H).

A massa de mil sementes (MS₁₀₀₀) sofreu influência significativa das cultivares, de modo que a BRS Anahí e BRS Seda se sobrepõe a BRS Morena, com MS₁₀₀₀ cerca de 30% superior à BRS Morena (Figura 2I). A BRS Seda é detentora da maior MS₁₀₀₀ por planta, com valor de 3,9 g, esse resultado supera o estimado pela Embrapa (2009), que descreve 3,22 g como peso médio de mil sementes dessa cultivar. Distingue-se, ainda, dos resultados obtidos por Feitosa et al. (2020) para a mesma cultivar submetida a concentrações de Benziladenina sobre o potencial produtivo, com cerca 3,75 g. Ainda segundo os autores, quando essa cultivar demonstrou a maior média de mil sementes, também foi responsável por proporcionar o maior percentual de óleo, com 43,2%. O parâmetro MS₁₀₀₀ é de grande relevância pois segundo Beltrão e Vieira (2001), há uma relação proporcional entre a massa de mil sementes e o teor de óleo do gergelim, sendo este o produto principal da cultura.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do resumo da análise de variância para as variáveis referente ao acúmulo de biomassa das cultivares de gergelim estudadas. Houve diferença significativa das cultivares ($p \leq 0,01$) nos parâmetros massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC), da parte aérea (MSP_A), e da planta (MSR). As fontes de potássio influenciaram de forma significativa a nível de ($p \leq 0,01$) a MSC e MSP_A e a ($p \leq 0,05$) a MSF e MSR. A interação entre os fatores Fonte× Dose causou diferença significativa ($p \leq 0,01$) na MSP_A e a ($p \leq 0,05$) na MSF. Não foram verificadas diferenças significativas entre as doses de potássio em nenhuma das variáveis analisadas.

Tabela 4. Resumo da análise de variância referente à massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSP_A) e massa seca da raiz (MSR) das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda sob diferentes fontes e doses de potássio

Fonte de variação	Quadrados médios				
	GL	MSF	MSC	MSP _A	MSR
Cultivar (C)	2	524,3*	956,3*	2895,2*	2,35 ^{ns}

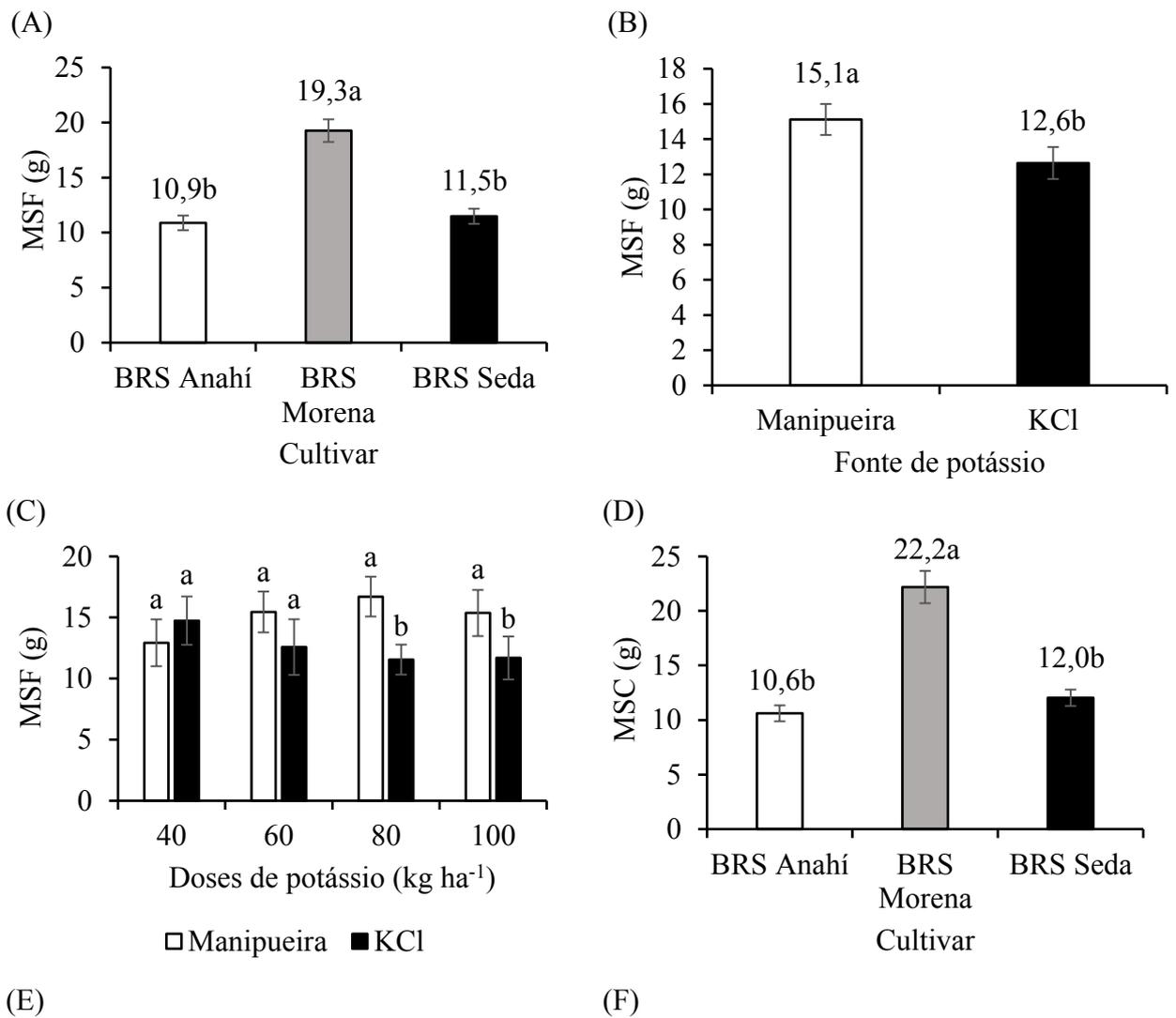
Fonte de K ₂ O (FK)	1	110,3**	382,1*	902,8*	186,9**
Dose de K ₂ O (DK)	3	1,25 ^{ns}	19,3 ^{ns}	28,2 ^{ns}	24,4 ^{ns}
Interação (C × FK × DK)	6	14,8 ^{ns}	3,9 ^{ns}	30,7 ^{ns}	6,5 ^{ns}
Interação (C×FK)	2	1,14 ^{ns}	44,8 ^{ns}	46,2 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Interação (C × DK)	6	9,27 ^{ns}	10,4 ^{ns}	23,3 ^{ns}	10,6 ^{ns}
Interação (FK× DK)	3	40,7**	45,2 ^{ns}	168,6*	0,21 ^{ns}
Resíduo	48	14,7	22,4	48,9	14,6
CV(%)		27,6	15,5	24,3	29,59

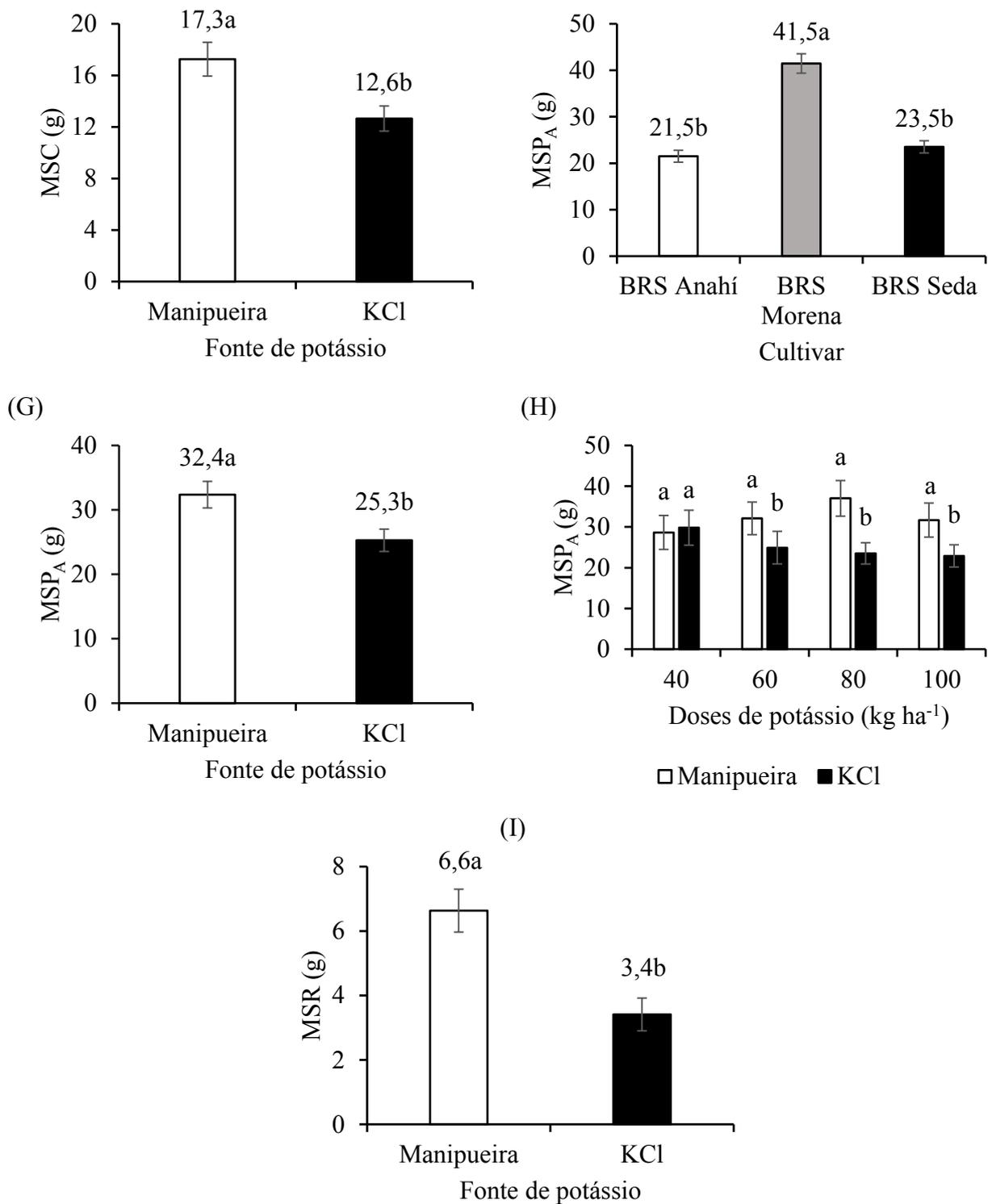
CV (%) -coeficiente de variação; **significativo em 0,01 de probabilidade, *significativo em 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Para a massa seca das folhas (MSF), a BRS Morena distingue-se das demais cultivares com 19,3 g (Figura 3A), que representa 77,1% e 67,8% superior a BRS Anahí e BRS Seda, respectivamente. Essa variável foi favorecida com o uso de manipueira como fonte de potássio (Figura 3B), com incremento de 19,8% em comparação a adubação com KCl. Santos et al. (2010), notaram aumento da massa de matéria seca das folhas da alface quando adubadas com doses de 393,6 e 396,9 mL de manipueira, em comparação a não aplicação do resíduo líquido. Na figura 3C é possível observar que a manipueira promoveu aumento da MSF proporcional a elevação das doses de potássio até 80 kg ha⁻¹, sendo essa dose responsável por uma massa de matéria seca das folhas de 16,7 g, ocorrendo redução de 8,4% com a dose de 100 kg ha⁻¹. Esse resultado corrobora com o atingido por Magalhães et al. (2013), no qual observaram maiores conteúdos de massa seca das folhas e do colmo do milho com o aumento das doses de manipueira aplicadas no solo.

No que tange a massa seca do caule (MSC), observa-se a mesma tendência da MSF, de modo que a BRS Morena difere estatisticamente das demais cultivares, apresentando o maior valor de MSC com 22,2 g, possuindo diferença percentual média de 85% em relação a BRS Seda, que por sua vez é 13,2% superior a BRS Anahí (Figura 3D). Isso pode ser explicado pelo maior diâmetro do caule das cultivares ser também representado pela BRS Morena. Seguindo a mesma propensão das demais variáveis, para a MSC a manipueira mais uma vez detém os maiores valores, promovendo aumento de 37,3% em contraposição a adubação com KCl (Figura 3E). Resultados semelhantes foram obtidos por Dantas et al. (2015), para a cultura do girassol, alcançando maior acúmulo de massa seca do caule com a dose de 136 m³ ha⁻¹ de manipueira.

Para a massa seca da parte aérea (MSP_A), representada pelo somatório da matéria seca das folhas e do caule, destaca-se a BRS Morena que difere de forma significativa das demais cultivares com valor de 41,5 g (Figura 3F), com diferença média percentual de 94,4% e 76,5%, da BRS Anahí e BRS Seda, respectivamente. Com relação a fonte de potássio (Figura 3G) a manipueira proporcionou o maior valor de MSP_A, sendo 28% superior a adubação com KCl. O incremento na MSP_A obtido com o uso da manipueira está em concordância com Aguiar et al. (2012), que obtiveram o valor máximo da massa seca da parte aérea ao submeter o milho a adubação orgânica com dose de 40,5% de esterco bovino.





Médias seguidas por letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Barras na vertical representam o erro padrão da média ($n=3$).

Figura 3. Massa seca das folhas (MSF) (A-C), massa seca do caule (MSC) (D-E), massa seca da parte aérea (MSPA) (F-H) e massa seca da raiz (MSR) (I), das cultivares de gergelim BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda sob diferentes fontes e doses de potássio

Para interação Fonte× Dose, nota-se aumento da MSP_A proporcional a elevação das doses de potássio com uso da manipueira como fonte até a dose de 80 kg ha^{-1} (Figura 3H), superior a essa dosagem ocorre então a redução da MSP_A , estando em consonância com os resultados obtidos por Duarte et al. (2012), em que observaram o aumento da massa fresca e seca da parte aérea da alface à medida que se elevou a dose de manipueira, no entanto, ocorreu a redução desse valor após a dose de $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Com o uso da dose de 80 kg ha^{-1} de potássio proveniente da manipueira foi obtida uma massa seca da parte aérea de 37,0 g, representando diferença média percentual de 57,4% superior ao uso da mesma dose com o KCl. Percebe-se também na Figura 3H que as plantas adubadas com KCl apresentam redução da MSP_A com o aumento das doses de potássio, sendo a dose de 40 kg ha^{-1} responsável pelo maior incremento dessa variável. Segundo Silva e Trevizam (2015), destacam que a aplicação de altas doses de potássio reduzem a absorção de cálcio e magnésio pelas plantas por meio da inibição competitiva, o que pode ser prejudicial ao desenvolvimento da planta.

Em relação a massa de matéria seca da raiz (MSR), a manipueira proporcionou valor superior a fonte de potássio KCl (Figura 3I). A MSR das plantas de gergelim adubadas com manipueira como fonte de potássio foi de 6,6 gramas, o que representa uma diferença percentual média de 94,1% em comparação a adubação com KCl (3,4g). Corroborando com Linhares et al. (2016), no qual observaram aumento nos rendimentos de massa seca da raiz e da relação raiz/parte aérea do feijão-caupi submetido a adubação orgânica com húmus de minhoca incorporado ao solo. Além disso, Figueredo et al. (2018), concluíram que a adubação orgânica com doses de biofertilizante ($1000 \text{ mL m linear}^{-1}$) promovem os maiores valores de biomassa e crescimento do amendoinzeiro.

4. CONCLUSÕES

1. A produção das cultivares de gergelim é favorecida com o uso da manipueira como fonte de potássio.
2. A cultivar BRS Seda possui produção superior quando comparada às BRS Anahí e BRS Morena, inclusive submetida a adubação combinada com manipueira.
3. A manipueira é benéfica ao acúmulo de biomassa seca do gergelim e a cultivar BRS Morena produz biomassa seca de planta superior às demais cultivares.
4. A manipueira combinada com fertilizante mineral pode potencializar a produção e biomassa seca do gergelim.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. A. S.; MATIAS, S. S. R.; SOUZA, R. R.; SILVA, R. L.; NOBREGA, J. C. A. Desenvolvimento do milheto sob adubação orgânica no município de Corrente – PI. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 4, p. 90-96, 2012.
- ALMEIDA, M. J.; SOUSA, C. M.; ROCHA, M. C.; JOSÉ, V. D. M. B. E.; POLIDORO, C. Reposição deficitária de água e adubação com organomineral no crescimento e produção de tomateiro industrial. *Irriga, Botucatu*, v. 24, n. 1, p. 69-85, 2019.
- APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 21st ed. Washington DC: APHA, 2005.
- ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A. DE.; ANDRADE, E. M. G.; OLIVEIRA, S. J. C.; CARDOSO, J. A. F.; SENA, L. F. Crescimento inicial de feijão Vigna fertirrigado com urina humana e manipueira. *Revista Espacios*, v.38, n. 13, p.21-31, 2017.
- ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M.; FIRMINO, P. T. Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde. *Embrapa Informação Tecnológica*, 209 p., 2009.
- ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P. T.; BELTRÃO, N. E. M.; SOARES, J. J.; ARAÚJO, A. E.; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. A cultura do gergelim. *Embrapa Informação Tecnológica*, p. 72, 2007.
- BATISTA, G. S.; SILVA, J. L.; ROCHA, D. N. S.; SOUZA, A. R. E.; ARAÚJO, J. F.; MESQUITA, A. C. Crescimento inicial do meloeiro em função da aplicação de biofertilizantes no cultivo orgânico. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v.9, n.2, p.24-32, 2019.
- BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. O agronegócio do gergelim no Brasil. *Embrapa Informação Tecnológica*, 348p. 2001.
- BHARATHI, K.; PANNEERSELVAM, P.; BHAGYA, H.P. Effect of clipping and plant growth regulator along with different kinds of fertilizers on yield and yield parameters in sesame (*Sesamum indicum* L.) during monsoon period. *Indian Journal of Agricultural Research*, v. 48, n. 3, 2014.

- CAMPOS, F.; ARAÚJO, K. B. Fertirrigação e o reúso de água na agricultura. *InterfaceEHS*, v. 15, p28-41. 14p, 2019.
- CHAVES, L. H. G.; ALVES, A. N.; SOUZA, F. G. Omissão de macronutrientes e ferro em plantas de gergelim cultivado em ambiente protegido. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC, 5p., 2017.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 4, p. 01-98, quarto levantamento, jan. 2022.
- CRUZ, N. F. F. S., NASCIMENTO, L. F. J., SANTOS, R. F., ZANÃO JÚNIOR, L. A., CUNHA, E., ROCHA, E. O. Características e tratos culturais do gergelim (*Sesamum indicum* L.). *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 8, p. 665-675, 2019.
- CRUZ, R. N.; AZEVEDO, C. A. V.; FERNANDES, J. D.; MONTEIRO FILHO, A. F.; WANDERLEY, A. C. Adubação orgânica residual no crescimento e produção do gergelim irrigado com água residuária. *Revista Verde*, v. 8, n.1, p.257-263, 2013.
- DANTAS, M. S. M.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. S.; PEDROSA, E. M. R.; TABOSA, J. N.; DANTAS, D. C. Crescimento do girassol adubado com resíduo líquido do processamento de mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.4, p.350–357, 2015.
- DUARTE, A. S.; SILVA, E. F. F.; ROLIM, M. M.; FERREIRA, R. F. A. L.; MALHEIROS, S. M. M.; ALBUQUERQUE, F. S. Uso de diferentes doses de manípueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.3, p.262–267, 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Gergelim BRS Seda. Embrapa algodão, 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/579013/gergelim-brs-seda>. Acesso em 30 de jan. 2022.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Oleaginosas e seus óleos: Vantagens e desvantagens para a produção de biodiesel, ed. 1, Campina Grande, p. 12-28, 2008.

- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Potencial econômico e nutricional do gergelim mobiliza pesquisa, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2202864/potencial-economico-e-nutricional-do-gergelim-mobiliza-pesquisa>. Acesso em: 27 de jan. de 2022.
- EMBRAPA, Manipueira, um líquido precioso, 2011. Disponível Em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18147209/manipueira-um-liquido-precioso>. Acesso em: 27 jan. 2021.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Brasília – DF: Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro – RJ: Embrapa Solos, p. 412, 2006.
- FEITOSA, S. S.; ALBUQUERQUE, M. B.; DEMARTELAERE, A. C. F.; ARAÚJO, L.; RODRIGUES, A. L. S.; BERNARDI, D.; PRESTON, H. A. F.; MEDEIROS, J. G. F. Potencial produtivo e energético de cultivares de *Sesamum indicum* L. em resposta a benziladenina. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p. 60128-60144, 2020.
- FERNANDES, P. H.; PORTO, D. W. B.; FRANÇA, A. C.; FRESCO, M. H. R.; MACHADO, C. M. M. Uso de fertilizantes organomineraisfosfatados no cultivo da alface e de milho em sucessão. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.6, p. 37907-37922, 2020.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v.37, p.529-535, 2019.
- FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria - princípios e aplicações na agricultura. In: FERREIRA, M. D. (Ed.técnico). *Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças*, São Carlos: Embrapa Instrumentação, p. 209-220, 2017.
- FIGUEREDO, L. F.; MAIA JÚNIOR, S. O.; FIGUEREDO, J. N.; FERREIRA, R. S.; ANDRADE, R. Desempenho agrônômico de amendoim sob diferentes fontes e doses de biofertilizantes. *Acta Iguazu*, v.7, n.5, p. 17-26, 2018.

alvareng

- JESUS, F. L. F.; SANTOS, O. N. A.; TALAMINI JUNIOR, M. V.; GOMES, T. M. G.; ROSSI, F. ROMÁN, R. M. S. Águas residuárias para irrigação no brasil: uma abordagem química, física e microbiológica. *Irriga*, Botucatu, v. 25, n. 3, p. 562-589, 2020.
- LINHARES, P. C. A.; SILVA, J. N.; FIGUEREDO, J. P.; IRINEU, T. H. S.; ANDRADE, R. Acúmulo de massa seca em feijão-caupi sob adubação orgânica. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.11, nº 5, p. 133-137, 2016.
- LIRA, E. H. A.; SOUZA, J. T. A.; SILVA, K. E.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, S. J. C. Manejo agroecológico do gergelim (*Sesamum indicum* L) no agreste Paraibano. *Cadernos de Agroecologia*, v. 9, n. 3, 2014.
- LIU, H. M.; YAO, Y. G.; YAN, Y. Y.; WANG, X. D. Elucidation of the structural changes of sesame hull hemicelluloses during roasting. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 161, p. 1535-1544, 2020.
- MAGALHÃES, A. G.; ROLIM, A. M.; DUARTE, A. S.; BEZERRA NETO, E.; TABOSA, J. N.; PEDROSA, E. M. R. Desenvolvimento inicial do milho submetido à adubação com manipueira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.7, p.675–681, 2014.
- PONTE, J. J. Da. Cartilha de manipueira: uso do composto como insumo agrícola. *Banco do Nordeste do Brasil*, p.66, 2006.
- RAMOS, J. G.; LIMA, V. L. A.; PEREIRA, M. O.; NASCIMENTO, M. T. C. C.; ARAÚJO, N. C.; PEREIRA, M. C. A. Cultivo de milho híbrido com macronutrientes, urina humana e manipueira aplicados via fundação e fertirrigação. *Irriga*, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 420-431, 2020.
- QUEIROGA, V. P.; ARRIEL, N. H. C.; SILVA, O. R. R. F. *Tecnologias para o agronegócio do gergelim*. Embrapa Algodão, 1º ed., 264p., 2010.
- RIBEIRO, V. H.A.; ARRIEL, N. H. C.; FERNANDES, P. D. Tolerância de genótipos de gergelim ao estresse hídrico em cultivo com biofertilizante. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p.64637-64660, 2020.

- SANTOS, A.S., RODRIGUES, M.H.B.S., Silva, G.V., Gomes, F.A.L., Silva, J.N., Cartaxo, P.H.A. Importância do reuso de água para irrigação no Semiárido. *Meio Ambiente*, v.2, n.3, p.15-20, 2020.
- SANTOS, M. H. V.; ARAÚJO, A. C.; SANTOS, D. M. R.; LIMA, N. S.; LIMA, C. L. C.; SANTIAGO, A. D. Uso da manipueira como fonte de potássio na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em casa-de-vegetação. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 32, n. 4, p. 729-733, 2010.
- SANTOS, S. S.; FERNANDES, P. D.; QUEIROZ, M. F.; ARRIEL, N. H. C.; RIBEIRO, V. H. A.; FERNANDES, J. D. Physiology and production of sesame genotypes BRS-Seda and Preto under organomineral fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, n.12, p.914-918, 2019.
- SILVA, E. L. G.; GONÇALVES, S. B.; MONTEIRO FILHO, A. F.; ARRIEL, N. H. C.; QUEIROZ, M. F. Crescimento e produção do gergelim em diferentes níveis de solução organomineral. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n.3, p.33-38, 2016.
- SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. *Jornal Informações Agrônomicas*, n. 149, p. 10-16, 2015.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W, G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, p. 573, 2017.
- TENYANG, N.; PONKA, R.; TIENCHEU, B.; DJIKENG, F. T.; AZMEERA, T.; KARUNA, M. S.; WOMENI, H. M. Effects of boiling and roasting on proximate composition, lipid oxidation, fatty acid profile and mineral content of two sesame varieties commercialized and consumed in Far-North Region of Cameroon. *Food Chemistry, London*, v. 221, n. 1, p. 1308-1316, 2017.
- VIANA, T. V. A.; SANTOS, A. P. G.; SOUSA, G. G.; PINHEIRO NETO, L. G.; AZEVEDO, B. M.; AQUINO, B. F. Trocas gasosas e teores foliares de NPK em meloeiro adubado com biofertilizantes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, n.4, p.595-601, 2013.

CAPÍTULO IV

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A BRS Anahí mostrou emergência e crescimento inferior às BRS Morena e Seda, no entanto, o seu desenvolvimento não foi afetado de forma negativa com o uso da manipueira tratada como fonte de potássio.

Os melhores resultados em crescimento e produção foram obtidos com o uso da manipueira como fonte de potássio para as três cultivares. Sendo a BRS Seda destaque na produção quando comparada às demais cultivares, especialmente quando submetida a adubação organomineral com manipueira.

Ademais, a manipueira tratada não compromete a concentração interna de CO₂ e a eficiência instantânea da carboxilação. Já a eficiência instantânea no uso da água é favorecida com o uso do cloreto de potássio como fonte de potássio em sua menor dose de 40 kg ha⁻¹.

Referente ao acúmulo de biomassa seca do gergelim a cultivar BRS Morena possui resultados superiores em comparação às demais cultivares. O uso da manipueira potencializou a produção de biomassa seca do gergelim.

A manipueira tratada como fonte de potássio compondo uma adubação organomineral, apresenta grande potencialidade, podendo promover incrementos na produção das cultivares de gergelim, reduzindo custos de produção e possibilitando um destino correto ao efluente.

Considerando os resultados desse estudo, a aplicação de doses de manipueira como fonte de potássio entre 60 e 80 kg ha⁻¹ pode suprir a demanda de potássio das cultivares de gergelim (BRS Anahí, BRS Morena e BRS Seda). Entretanto, doses superiores a 100 kg ha⁻¹ de manipueira podem afetar de forma negativa o desenvolvimento das cultivares.

Todavia, apesar dos efeitos benéficos da manipueira tratada como fonte de potássio no cultivo do gergelim, existe a necessidade de estudos futuros para avaliar os efeitos desse efluente no teor e composição do óleo de gergelim.