

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA ADUBAÇÃO DO CÁRTAMO
CULTIVADO EM LATOSSOLO VERMELHO

ELLEN CRISTINA ALVES DE ANICÉSIO

RONDONÓPOLIS – MT

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA ADUBAÇÃO DO CÁRTAMO
CULTIVADO EM LATOSSOLO VERMELHO

ELLEN CRISTINA ALVES DE ANICÉSIO

Engenheira Agrícola e Ambiental

Orientador (a): Profa Dra. EDNA MARIA BONFIM-SILVA

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Mato Grosso para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na linha de pesquisa de Sistemas Agrícolas.

RONDONÓPOLIS – MT

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A597n Anicésio, Ellen Cristina Alves de.
NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA ADUBAÇÃO DO
CÁRTAMO CULTIVADO EM LATOSSOLO VERMELHO / Ellen
Cristina Alves de Anicésio. -- 2014
74 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Edna Maria Bonfim-Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato
Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
Rondonópolis, 2014.
Inclui bibliografia.

1. *Carthamus tinctorius* L. 2. equilíbrio nutricional. 3.
oleaginosa. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA ADUBAÇÃO DO CÂRTAMO CULTIVADO EM LATOSSOLO VERMELHO

Autora: ELLEN CRISTINA ALVES DE ANICÉSIO

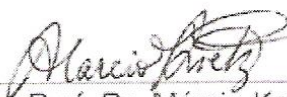
Orientadora: Dra. EDNA MARIA BONFIM-SILVA

Aprovada em 11 de dezembro de 2014.

Comissão Examinadora:



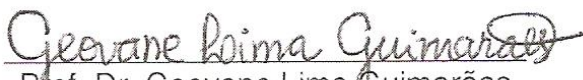
Prof. Dra. Edna Maria Bonfim-Silva
(Universidade Federal de Mato Grosso)
(Orientadora)



Prof. Dr. Márcio Koetz
(Universidade Federal de Mato Grosso)



Prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva
(Universidade Federal de Mato Grosso)



Prof. Dr. Geovane Lima Guimarães
(Instituto Federal Baiano)
(Membro externo)

DEDICO

Aos meus pais, João Batista Anicésio e Orlany Alves Anicésio, pela educação, dedicação e os ensinamentos ofertados a mim, sendo essencial para formação da minha conduta, pelo apoio à continuidade dos meus estudos, sem medir esforços para que meu sonho fosse realizado.

Ao meu irmão, Everton Augusto Alves de Anicésio, pelo amor, carinho, apoio, confiança e pelos momentos agradáveis de descontração.

À minha madrinha, Cinira Teodoro de Anicésio, por sua dedicação a mim desde o meu nascimento, também contribuindo para minha formação pessoal e profissional, por meio de orações, apoio e incentivo para que eu alcançasse meus objetivos.

Muito obrigada, eu os amo demais!

OFEREÇO

À minha mãe, Orlany Alves Anicésio, por ser minha inspiração de vida, pelo amor incondicional e por ter me ensinado tantas virtudes para enfrentar os desafios e conquistas com sabedoria.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, por ter me dado força para lutar e enfrentar novos desafios a cada dia, por todas as bênçãos concebidas e pela ajuda em todas as minhas decisões, guiando-me para as melhores escolhas.

À UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso, pela oportunidade de realizar o mestrado e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelo apoio aos discentes e dedicação ao curso.

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Edna Maria Bonfim-Silva, pela amizade, ensinamentos, oportunidade, confiança, incentivo e pelos desafios lançados, os quais contribuíram para meu aprendizado e formação profissional.

Ao Prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva, pelos ensinamentos, confiança, dedicação e apoio no desenvolvimento deste trabalho, por meio de contribuições teóricas e práticas na instalação do experimento.

Aos professores da pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos, que contribuíram para minha formação.

Ao Julio Cezar Fornazier Moreira, pelo amor, dedicação, carinho e apoio em todos os momentos bons e difíceis pelos quais enfrentei durante a realização deste curso.

Aos meus amigos que conquistei e sempre me lembrarei: Jakeline Rosa de Oliveira, Marcel Thomas Job Pereira e Janaína Maira Gonçalves, pois foram fundamentais para realização dessa pesquisa, me ajudando a executar todas as etapas do projeto. Agradeço a todos pela amizade, carinho e apoio durante todo o curso, pelos bons momentos de descontração e pelo companheirismo de família onde não se poupa esforços para ajudar os amigos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

OBRIGADA!

NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA ADUBAÇÃO DO CÁRTAMO CULTIVADO EM LATOSSOLO VERMELHO

RESUMO - O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma cultura promissora para ser difundida no Brasil visando a produção de biodiesel. Entretanto, a falta de conhecimentos básicos sobre as técnicas de cultivo, como requerimento nutricional da cultura, ainda são obstáculos para sua expansão. O nitrogênio e o potássio são os nutrientes extraídos em maior quantidade pelas plantas, sendo que sua disponibilidade e a adequada proporção entre eles no solo são fatores importantes no desenvolvimento vegetal. Assim, objetivou-se estudar o efeito de combinações de doses de nitrogênio e potássio na adubação do cártamo, cultivado em Latossolo Vermelho. O experimento foi realizado em casa de vegetação, utilizou-se Latossolo Vermelho, coletado sob vegetação de Cerrado, na camada de 0-0,2 m. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial 5x5, correspondente a cinco doses de nitrogênio (0, 60, 120, 180 e 240 mg dm⁻³) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³), com quatro repetições. Aos 55 dias após a emergência das plantas, realizou-se a primeira avaliação do experimento, onde foram analisadas características fitométricas: número de folhas, altura de plantas, diâmetro do caule; nutricional: índice de clorofila; e o consumo de água. Aos 74 dias após a emergência, determinou-se, além das variáveis da primeira avaliação, características fitométricas: número e diâmetro de capítulos; produtivas: massa seca da parte aérea, capítulos, raízes e total; nutricionais: concentração e acúmulo de nitrogênio e potássio na parte aérea e nos capítulos; e eficiência no uso de água. Os resultados foram submetidos à análise em superfície de resposta por meio do emprego do “Statistical Analysis System” (SAS, 2002). Não houve interação significativa entre nitrogênio e potássio, com efeito isolado dos fatores para todas as variáveis analisadas, aos 55 e 74 dias após a emergência. A adubação nitrogenada aumentou o número de folhas e diâmetro do caule em ambas avaliações. O índice de clorofila foi influenciado positivamente pela adubação nitrogenada nas duas avaliações, com maior valor encontrado na dose de nitrogênio de 168 mg dm⁻³. O número e diâmetro de capítulos, a massa seca da parte aérea, dos capítulos e total, e a eficiência no uso da água, ajustaram-se a modelo quadrático de regressão para a adubação nitrogenada, apresentando maiores resultados nas doses de nitrogênio de 137; 122; 95; 124; 102 e 82 mg dm⁻³, respectivamente. A concentração de nitrogênio na parte aérea e nos capítulos ajustaram-se a modelo linear de regressão, entretanto, os maiores acúmulos de nitrogênio na parte aérea e nos capítulos foram proporcionados pelas doses de nitrogênio de 169 e 154 mg dm⁻³, respectivamente; e os maiores acúmulos de potássio na parte aérea e nos capítulos foram encontrados nas doses de nitrogênio de 90 e 108 mg dm⁻³, respectivamente. A adubação com potássio apresentou efeito isolado para todas as variáveis analisadas, exceto índice de clorofila e diâmetro de capítulos, com ajuste a modelo linear crescente de regressão. A adubação nitrogenada e potássica, de forma isolada, influencia positivamente as características fitométricas, produtivas e nutricionais de plantas de cártamo aos 55 e 74 dias de cultivo.

Palavras-chave: *Carthamus tinctorius* L., equilíbrio nutricional, oleaginosa.

NITROGEN AND POTASSIUM IN THE SAFFLOWER FERTILIZATION GROWN IN OXISOL

ABSTRACT – Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is a promising crop to disseminate in Brazil for biodiesel production. However, the lack of basic knowledge about cultivation techniques, such as the nutritional requirement of the crop, are still obstacles to its expansion. Nitrogen and potassium are the nutrients that are extracted in greater amounts by plants, and their availability and the proper proportion between these nutrients in the soil are important factors in plant development. Thus, the objective was to study the effect of the combined rates of nitrogen and potassium on fertilization in safflower that is grown in Oxisol. This experiment was performed in a greenhouse using Oxisol that was collected under Cerrado vegetation in the 0-0.2-m layer. The experimental design was randomized blocks, and the treatments were arranged in a 5×5 factorial scheme, corresponding to five nitrogen rates (0, 60, 120, 180 and 240 mg dm⁻³) and five potassium rates (0, 50, 100, 150 and 200 mg dm⁻³) with four replications. At 55 days after plant emergence, the first experimental evaluation was performed, where the following were analyzed, phytometric characteristics: number of leaves, plant height and stem diameter; nutritional: chlorophyll index; and water consumption. At 74 days after emergence, in addition to the variables of the first evaluation, the following were determined, phytometric characteristics: number and diameter of heads; productive: dry mass of the aerial part, heads, roots and total; nutritional: concentration and accumulation of nitrogen and potassium in aerial part and heads; and efficient of water use. The results were analyzed by the response surface through the "Statistical Analysis System" (SAS, 2002). There was no significant interaction between nitrogen and potassium, with an isolated effect of factors for all of the variables at 55 and 74 days after emergence. Fertilization with nitrogen increased the number of leaves and the stem diameter in both of the evaluations. The chlorophyll index was positively influenced by nitrogen fertilization in both evaluations, with highest value found at a nitrogen rate of 168 mg dm⁻³. The number and diameter of the heads; the dry mass of the aerial part, heads, and total; and the efficiency of water use adjusted the regression quadratic model to nitrogen fertilization, with higher resulting nitrogen rates at 137, 122, 95, 124, 102 and 82 mg dm⁻³, respectively. The nitrogen concentration in the aerial part and in the heads adjusted the regression linear model; however, the higher nitrogen accumulation in aerial part and heads were provided by nitrogen doses of 169 and 154 mg dm⁻³, respectively; the highest potassium accumulation in aerial part and heads were found at nitrogen rates of 90 and 108 mg dm⁻³, respectively. The potassium fertilization had an isolated effect for all of the variables except for the chlorophyll index and head diameter with linear increasing. The nitrogen and potassium fertilization, in isolation, positively influences the phytometric characteristics, productive and nutritional of safflower plants after 55 and 74 days of cultivation.

Keywords: *Carthamus tinctorius* L., nutritional balance, oilseed.

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Temperatura máxima, mínima e média (A) e umidade relativa máxima, mínima e média (B), observada durante a condução do experimento.	24
FIGURA 2. Vista geral do experimento em casa de vegetação, composto por plantas de cártamo submetidas às doses de nitrogênio e potássio, aos 15 dias após a emergência.....	25
FIGURA 3. Retirada de uma amostra de solo de 2,5 dm ³ (A), incorporação do adubo fosfatado no interior de um recipiente (B).	27
FIGURA 4. Aplicação da adubação potássica e de micronutrientes, via solução, antes da semeadura.	27
FIGURA 5. Semeadura do cártamo (A); Emergência das plântulas, aos quatro dias após a semeadura (B).....	28
FIGURA 6. Aplicação da primeira parcela da adubação nitrogenada, de acordo com os tratamentos, aos dez dias após a emergência (A e B).	28
FIGURA 7. Sistema autoirrigante, composto por uma vela de filtro conectada a um reservatório de água (frasco mariotte).	29
FIGURA 8. Alocação da vela de filtro na camada superficial e central do vaso (A); Preenchimento do vaso com solo adubado para cobrir a vela (B e C); Vela conectada ao reservatório de água através de um microtubo flexível (D).	30
FIGURA 9. Altura entre o reservatório e o vaso: 30 cm, aos 10 DAE (A); 40 cm, aos 20 DAE (B); 20 cm a partir de 45 DAE (C).	31
FIGURA 10. Determinação do diâmetro do caule com auxílio de paquímetro analítico (A); Determinação do índice de clorofila por meio do clorofilômetro Minolta SPAD-502 (B).	32
FIGURA 11. Número de folhas aos 55 e 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.....	34
FIGURA 12. Número de folhas aos 55 e 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.....	36

FIGURA 13. Altura de plantas de cártamo aos 55 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	37
FIGURA 14. Altura de plantas de cártamo aos 55 e 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	38
FIGURA 15. Diâmetro do caule de plantas de cártamo aos 55 e 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	39
FIGURA 16. Diâmetro do caule de plantas de cártamo aos 55 e 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	40
FIGURA 17. Número de capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	41
FIGURA 18. Número de capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	43
FIGURA 19. Diâmetro de capítulos aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	44
FIGURA 20. Massa seca da parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	45
FIGURA 21. Massa seca da parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	46
FIGURA 22. Massa seca de capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	47
FIGURA 23. Massa seca de capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	48
FIGURA 24. Massa seca de raízes de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	49
FIGURA 25. Massa seca total de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	50
FIGURA 26. Massa seca total de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	51
FIGURA 27. Consumo de água das plantas de cártamo aos 55 e 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	52

FIGURA 28. Eficiência de plantas de cártamo no uso da água aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.....	53
FIGURA 29. Eficiência de plantas de cártamo no uso da água aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	54
FIGURA 30. Índice de clorofila (Leitura SPAD) aos 55 e 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	55
FIGURA 31. Concentração (A) e acúmulo (B) de nitrogênio na parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	57
FIGURA 32. Concentração (A) e acúmulo (B) de nitrogênio na parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	58
FIGURA 33. Concentração (A) e acúmulo (B) de nitrogênio nos capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	59
FIGURA 34. Concentração (A) e acúmulo (B) de nitrogênio nos capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	60
FIGURA 35. Acúmulo de potássio na parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	61
FIGURA 36. Concentração (A) e acúmulo (B) de potássio na parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho.	62
FIGURA 37. Acúmulo de potássio nos capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho.	63
FIGURA 38. Concentração (A) e acúmulo (B) de potássio nos capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Cultura do cártamo.....	14
2.1.1	Origem e finalidade	14
2.1.2	Taxonomia e morfologia.....	15
2.1.3	Exigências climáticas e nutricionais	16
2.2	Nitrogênio.....	17
2.3	Potássio	19
2.4	Relação nitrogênio:potássio	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Localização do experimento.....	24
3.2	Delineamento experimental.....	25
3.3	Coleta, caracterização e correção do solo.....	25
3.4	Manejo da adubação e semeadura	26
3.5	Manejo da irrigação.....	28
3.6	Variáveis analisadas	31
3.7	Análises estatísticas.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Número de folhas.....	34
4.2	Altura de plantas	36
4.3	Diâmetro de caule	39
4.4	Número de capítulos	41
4.5	Diâmetro de capítulos	43
4.6	Massa seca da parte aérea.....	44
4.7	Massa seca de capítulos.....	47
4.8	Massa seca de raízes	49
4.9	Massa seca total	50
4.10	Consumo de água.....	52
4.11	Eficiência no uso da água	52
4.12	Índice de clorofila	55
4.13	Concentração e acúmulo de nitrogênio na parte aérea	56
4.14	Concentração e acúmulo de nitrogênio nos capítulos	59
4.15	Concentração e acúmulo de potássio na parte aérea	61
4.16	Concentração e acúmulo de potássio nos capítulos.....	63
5	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes alternativas de energia é uma exigência dos sistemas de produções sustentáveis. Desse modo, a importância das culturas oleaginosas, como o cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), tem aumentado, especialmente com o interesse na produção de biocombustíveis (DORDAS e SIOULAS, 2008). Além dessa finalidade, o cártamo vem sendo largamente utilizado na alimentação humana, pois as sementes desta espécie vegetal possuem elevados teores de óleo (35 a 40%) de ótima qualidade, assim como para uso industrial, na fabricação de tintas e vernizes (GIAYETTO et al., 1999).

Atualmente, os maiores produtores de cártamo são Cazaquistão, Índia, Estados Unidos e México (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT, 2013). No Brasil, as informações disponíveis para seu cultivo ainda são escassas. Entretanto, pesquisas estão sendo realizadas visando a implantação e boa produção desta cultura.

A cultura do cártamo possui características agronômicas importantes, como elevada tolerância ao déficit hídrico, às altas temperaturas, aos ventos fortes e quentes, à baixa umidade relativa do ar e a solos salinos (KIZIL et al., 2008). Portanto, o cártamo possui adaptação a condições edafoclimáticas adversas.

Considerando que no cerrado brasileiro os solos são, em sua maioria, profundos e bem drenados e que há irregularidade do regime pluvial, o cártamo apresenta-se como boa opção para ser cultivado nesta região no período da entressafra diversificando a produção, facilitando o manejo do solo e de pragas e doenças, o que aumenta a renda do produtor.

Tendo em vista a importância econômica e ambiental do cártamo, e os estudos com esta cultura serem recentes no país, torna-se evidente a necessidade de pesquisas de base que contemplem o manejo da fertilidade do solo, com o objetivo de atender o requerimento nutricional da cultura.

Dentre os nutrientes essenciais aos vegetais, o nitrogênio é o mais extraído pelas plantas, sendo considerado um dos mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das culturas. Este nutriente é componente essencial de aminoácidos e proteínas, ácidos nucleicos, hormônios e clorofila, dentre os compostos orgânicos fundamentais à sobrevivência das plantas (CANTARELLA, 2007).

Após o nitrogênio, o potássio é o nutriente mineral mais requerido pelas plantas, em termos quantitativos. Esse nutriente tem inúmeras funções na planta, destacando-

se principalmente, a ativação de vários sistemas enzimáticos, muitos deles participantes dos processos de fotossíntese e respiração, além de promover a maximização dos efeitos do nitrogênio na planta (MARSCHNER, 1995). Portanto, o suprimento de nitrogênio e potássio para as plantas, em proporções adequadas, resulta em um efeito sinérgico entre eles, promovendo incremento na produção vegetal.

Aliado à eficiência da adubação, visando o aumento de produtividade, a preocupação com o uso racional de adubos químicos na agricultura é fundamental para diminuir o custo de produção e os riscos de poluição ambiental, principalmente no que diz respeito ao nitrogênio, pois esse nutriente além de ser oneroso, representa risco ao ambiente, quando aplicado em excesso no solo (CANTARELLA, 2007).

Partindo-se da hipótese de que as combinações de doses de nitrogênio e potássio influenciam no crescimento, desenvolvimento e nutrição da cultura do cártamo, objetivou-se estudar o efeito de combinações de doses de nitrogênio e potássio na adubação do cártamo, cultivado em Latossolo Vermelho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do cártamo

2.1.1 Origem e finalidade

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma das culturas mais antigas do mundo. Os primeiros relatos de cultivo desta planta são nos continentes asiático e africano. Vavilov (1951) propôs três centros de origem para o cultivo de cártamo: Índia, Afeganistão e Etiópia. As flores de cártamo eram usadas pelos nativos para extração de corante, utilizado tanto na culinária como para tingir tecidos, e também como erva medicinal (BAGHERI e SAM-DALIRI, 2011).

No último século, a planta foi cultivada principalmente para extração de óleo de suas sementes (CORLETO et al., 1997). O óleo de cártamo tem sido produzido comercialmente e para a exportação há cerca de 50 anos, primeiro como uma fonte de óleo para a indústria de tintas, e, atualmente, para produção de óleo comestível, utilizado para cozinhar, fabricar margarina e também como óleo de salada, substituindo o azeite de oliva (BAGHERI e SAM-DAILIRI, 2011).

O teor de óleo da semente de cártamo está compreendido entre 35 e 50% (CAMAS et al., 2007), apresentando ótima qualidade, tanto para consumo humano, como para uso industrial (GIAYETTO et al., 1999). O óleo de cártamo é insípido e incolor, sendo sua composição semelhante ao óleo de girassol (KAFFKA e KEARNEY, 1998).

No que diz respeito ao consumo humano, o óleo de cártamo é composto de dois tipos: aqueles ricos em ácidos graxos monoinsaturados (oleico, ômega 9) e aqueles com elevada quantidade de ácidos graxos poliinsaturados (linoleico, ômega 6), sendo que ambos atuam na redução do nível de colesterol ruim no sangue (BERGLUND et al., 2013). As sementes são também uma fonte rica de minerais (Zn, Cu, Mn e Fe), vitaminas (tiamina e β -caroteno) e tocoferóis α , β e γ (VELASCO et al., 2005).

Quanto ao uso industrial, o óleo de cártamo apresenta potencialidades como matéria prima para produção de biodiesel e na fabricação de tintas e vernizes (MUNDEL et al., 2004); porém, com o surgimento das tintas à base de água, este último uso tem sido cada vez mais restrito. Em todo o mundo, a principal finalidade do cultivo desta espécie é para obtenção de óleo comestível de bom valor nutricional.

Entretanto, a importância das culturas oleaginosas, como o cártamo, tem aumentado nos últimos anos, especialmente com o interesse na produção de biocombustíveis (DORDAS e SIOULAS, 2008).

Além disso, o cártamo é uma cultura conveniente e desejável à pecuária, pois permite a produção, na mesma área, de volumoso (silagem de cártamo) e concentrado (torta de cártamo, um coproduto da indústria de óleo), ambos podem ser usados na alimentação de ruminantes e monogástricos (ARANTES, 2011).

A produção mundial de cártamo é de cerca de 600 mil toneladas, com uma área colhida de, aproximadamente, 800 mil hectares, sendo que os maiores produtores, em ordem decrescente, são: Cazaquistão, Índia, Estados Unidos e México (FAOSTAT, 2013). Argentina, Peru e China também são responsáveis por grande parte da produção de cártamo no mundo, sendo que na China as flores são colhidas, principalmente para uso medicinal (BAGHERI e SAM-DAILIRI, 2011).

Na maioria desses países, o cártamo é utilizado em rotações com culturas de cereais, o que promove a diversificação dos sistemas de cultivo, a quebra dos ciclos de doenças e controla o surgimento de plantas espontâneas (OMIDI et al., 2012).

2.1.2 Taxonomia e morfologia

O cártamo é uma espécie oleaginosa anual, pertencente à família Asteraceae, assim como o girassol. É uma planta herbácea, de caule ereto, que pode atingir de 0,3 a 2 m de altura, dependendo da data de semeadura, espaçamento, fotoperíodo, temperatura, umidade e fertilidade do solo. Esta cultura possui vários ramos, que são classificados como primários, secundários e terciários, cuja extremidade possui uma estrutura globular chamada capítulo, composto por flores amarelas, laranjas ou vermelhas (SINGH e NIMBKAR, 2007).

A planta é composta por uma haste central que não se alonga por duas a três semanas após a germinação da semente, apresentando crescimento inicial lento, o que favorece o aparecimento de plantas espontâneas. Durante o período de crescimento lento, chamado de estágio de roseta, várias folhas são produzidas na base do caule. A duração deste estágio varia de 20 a 35 dias. Após esta fase, a haste alonga rapidamente e os ramos se tornam profusos (OELKE et al., 1992).

O início do florescimento ocorre em torno de 100 dias após a semeadura, dependendo dos tratos culturais e das condições climáticas, principalmente, da temperatura. A maturidade fisiológica ocorre, aproximadamente, aos 140 dias após a

semeadura, de 5 a 6 semanas após o início da floração (GRACIA et al., 2010). A cultura apresenta um ciclo que varia, normalmente, de 110 a 150 dias (OELKE et al., 1992).

2.1.3 Exigências climáticas e nutricionais

O cártamo possui adaptação a condições ambientais adversas, sendo tolerante ao déficit hídrico e salinidade (LOVELLI et al., 2007). Esta oleaginosa tem um sistema radicular profundo, apresentando raiz principal que se alonga de 2 a 3 m, o que facilita a extração de água e nutrientes de camadas mais profundas do solo, em comparação com outras plantas cultivadas e, portanto, torna-se uma planta ideal para sistemas de cultivo de sequeiro (SINGH e NIMBKAR, 2007).

Esta cultura apresenta melhor resposta em áreas com temperaturas quentes e baixa umidade durante a floração e o período de enchimento de sementes. Os rendimentos são mais baixos em condições úmidas ou chuvosas, pois a produção de sementes é reduzida e a ocorrência de manchas foliares e doenças que provocam apodrecimento do capítulo aumenta. Esta oleaginosa desenvolve-se bem em solos profundos e drenados (OELKE et al., 1992).

Geralmente, o cártamo é produzido em solos com baixa aptidão agrícola que são relativamente secos e com ausência de insumos, tanto fertilizantes ou irrigação (MOVAHHEDY-DEHNAVY et al., 2009). No entanto, os fertilizantes tendem a aumentar a produção de óleo, especialmente em áreas irrigadas e com boa precipitação (MUNDEL et al., 2004).

As tentativas de melhorar a produtividade e qualidade de grãos, por meio do desenvolvimento de novos genótipos e práticas agronômicas, estão em andamento em todo o mundo (MOVAHHEDY-DEHNAVY et al., 2009). A quantidade de fertilizante necessária para a produção de cártamo depende do objetivo de rendimento, a sua posição no ciclo de rotação, e as outras culturas utilizadas na rotação e sucessão (OELKE et al., 1992).

No Brasil, são escassas informações relativas à sua produção, técnicas de cultivo e finalidade. Diante das características agronômicas do cártamo, acredita-se no potencial produtivo desta cultura no Brasil, e por isso, pesquisas estão sendo realizadas para selecionar acessos que se adaptam melhor às condições edafoclimáticas locais (SILVA, 2013), bem como para avaliar o requerimento nutricional da cultura.

2.2 Nitrogênio

O nitrogênio, apesar de abundante na atmosfera na forma de N_2 (onde representa 78% do volume), está presente, na maioria dos solos, em quantidades insuficientes para suprir a necessidade das plantas. Esse nutriente mineral não é componente da rocha matriz, sendo que a maior fração do nitrogênio presente no solo (cerca de 99%) está na forma orgânica (TROEH e THOMPSON, 2007; CANTARELLA, 2007).

O nitrogênio em sua forma gasosa não pode ser usado pelas plantas até que seja quimicamente combinado com hidrogênio, oxigênio ou carbono, processo denominado fixação de nitrogênio (TROEH e THOMPSON, 2007). Sendo assim, o nitrogênio pode ingressar no sistema solo-planta por deposições atmosféricas, fixação biológica (simbiótica ou não), adubações químicas ou orgânicas. Por outro lado, pode sair por meio de remoção pelas culturas e variados mecanismos de perdas, que incluem lixiviação e volatilização (CANTARELLA, 2007).

Este nutriente é empregado em grandes quantidades na agricultura moderna na forma de fertilizantes, principalmente em culturas que não se associam com bactérias fixadoras de nitrogênio, como é o caso do cártamo. Entretanto, a utilização de fertilizantes nitrogenados aumenta os custos da produção vegetal, sendo fundamental adicionar quantidades adequadas desse nutriente ao solo, para evitar prejuízos econômicos e ambientais, tendo em vista que o nitrogênio, quando em excesso no solo, pode ser lixiviado na forma de nitrato e atingir o lençol freático (CANTARELLA, 2007).

O nitrogênio é o elemento mineral que as plantas exigem em maiores quantidades. Ele serve como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos e ácidos nucleicos. Plantas em crescimento necessitam de nitrogênio para formar novas células. A fotossíntese pode produzir carboidratos a partir de CO_2 e H_2O , mas o processo não se estende à produção de proteínas, ácidos nucleicos, enzimas e muitos outros elementos essenciais ao processo vital, a não ser que o nitrogênio esteja disponível (TROEH e THOMPSON, 2007).

Portanto, a deficiência de nitrogênio rapidamente inibe o crescimento e, conseqüentemente, a reprodução vegetal. Se tal deficiência persiste, a maioria das espécies mostra clorose (amarelecimento das folhas), sobretudo nas folhas mais velhas, devido o nitrogênio ser redistribuído na planta via floema. Sob severa deficiência de nitrogênio, essas folhas tornam-se completamente amarelas e caem da

planta. Folhas mais jovens podem não mostrar inicialmente tais sintomas, pois é possível que o nitrogênio seja mobilizado a partir das folhas mais velhas. Assim, uma planta com deficiência de nitrogênio pode ter folhas superiores verde-claras e folhas inferiores amarelas ou castanhas (TAIZ e ZEIGER, 2004).

O fornecimento adequado de nitrogênio ao solo melhora a qualidade dos produtos agrícolas. Entretanto, o excesso, ou o desequilíbrio com outro elemento, macro ou micro, tem efeito prejudicial, pois provoca crescimento vegetativo excessivo, em detrimento da produção de tubérculos ou raízes, proporciona folhas mais suculentas e susceptíveis a doenças, reduz a produção de frutos e o teor de açúcares, e predispõe a cultura ao acamamento (RAIJ, 1991; MALAVOLTA, 2006).

Nas oleaginosas, o nitrogênio determina o equilíbrio nos teores de proteínas acumuladas e produção de óleo, já que influencia o metabolismo de síntese de compostos de reserva nas sementes. Quando adubado com nitrogênio em grandes quantidades, há elevação dos teores do nutriente nos tecidos e redução da síntese de óleos, favorecendo a rota metabólica de acúmulo de proteínas nos aquênios da planta de girassol (CASTRO et al., 1999). Em estudo realizado por El-Nakhlawy (1991), o teor de proteína das sementes de cártamo aumentou com incremento de nitrogênio, enquanto o teor de óleo diminuiu.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento e desenvolvimento de cártamo, sendo imprescindível para a produção da cultura, pois afeta a produção de matéria seca, por influenciar o desenvolvimento e manutenção da área foliar, bem como a eficiência fotossintética (DORDAS e SIOULAS, 2008). Sugiharto et al. (1990) encontraram correlação positiva entre a capacidade fotossintética das folhas e concentração de nitrogênio nas folhas.

Em condições de deficiência de nitrogênio, o crescimento de plantas de cártamo é inibido e a razão parte aérea/raiz é diminuída (STEER e HARRIGAN, 1986), ocorre redução da interceptação de radiação, da eficiência do uso da radiação, do índice de área foliar e do teor de proteína da planta e da semente (MARSCHNER, 1995). Além disso, a deficiência de nitrogênio provoca atrasos no desenvolvimento fenológico tanto vegetativo quanto reprodutivo, reduz a taxa de emergência foliar, o rendimento e os componentes de produção, tais como o número de capítulos por planta, o número de sementes por capítulo, o peso de uma única semente, e o número de sementes por planta (GILBERT e TUCKER, 1967; JONES e TUCKER, 1968).

Dordas e Sioula (2008), estudando doses de nitrogênio (0, 100 e 200 kg ha⁻¹) na cultura do cártamo, observaram acréscimo de 19% na produção de sementes quando comparado a maior dose de nitrogênio (200 kg ha⁻¹) com o tratamento controle. Ainda segundo esses autores, a adubação nitrogenada promoveu aumento nos componentes de produção do cártamo, como o número de capítulos por planta, peso de grãos por planta e peso de sementes por capítulo.

Por outro lado, Yau e Ryan (2010), ao avaliar a produção de cártamo cultivado em solo argiloso e alcalino, em condições de sequeiro, submetido à doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹), não verificaram efeito significativo na produção de cártamo em função da adubação nitrogenada.

Golzarfar et al. (2012), estudando a cultura do cártamo, verificaram que a adubação nitrogenada afetou o rendimento de sementes e os componentes de rendimento. Houve incremento no rendimento de sementes à medida que se aumentou as doses de nitrogênio (0, 75 e 150 kg ha⁻¹), sendo que a maior produção, em média 3.227,50 kg ha⁻¹ foi observada na dose de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Mundel et al. (2004) relataram que o cártamo requer 5 kg ha⁻¹ de nitrogênio para produzir 100 kg ha⁻¹ de semente.

Strasil e Vorlicek (2002) verificaram efeito significativo da adubação nitrogenada sobre a produção de sementes de cártamo. Entretanto, esses autores observaram que o nitrogênio não afetou o teor de óleo das sementes, o peso de mil sementes e o número de capítulos por planta.

Siddiqui e Oad (2006), trabalhando com as doses de 0, 30, 60, 80, 120, 150 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, relataram que a adubação equivalente a 120 kg ha⁻¹ é considerada ideal para alcançar máximo rendimento de sementes de cártamo, levando em consideração os aspectos produtivos e financeiros da cultura.

2.3 Potássio

O potássio é um dos nutrientes mais abundantes nos solos, entretanto apenas uma pequena fração encontra-se em formas mais prontamente disponíveis às plantas. Portanto, devido ao manejo incorreto, às perdas por lixiviação e a grande extração pelas plantas, a concentração desse nutriente na solução do solo é reduzida rapidamente, necessitando de reposição via adubação (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

O potássio é o segundo nutriente mineral mais requerido pelas plantas, em termos quantitativos (MARSCHNER, 1995). Esse nutriente tem inúmeras funções na planta, destacando-se principalmente, a ativação de vários sistemas enzimáticos, muitos deles participantes dos processos de fotossíntese e respiração (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

Além de atuar na síntese de proteínas, de carboidratos e da adenosina trifosfato (ATP), o potássio participa também na regulação osmótica, na manutenção de água na planta por meio do controle da abertura e fechamento dos estômatos, na resistência da planta à geada, seca, salinidade e incidência de pragas e doenças, por meio do efeito na resistência e na permeabilidade das membranas plasmáticas (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007; MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995).

Dessa forma, a quantidade e qualidade dos produtos agrícolas estão diretamente relacionados com o aporte de potássio às culturas, onde altas produções com boa qualidade e, conseqüentemente, melhor valor de mercado demandam maiores níveis desse nutriente (MALAVOLTA, 2006).

A presença de potássio aumenta a resistência ao acamamento das plantas e às doenças, pois acelera o processo de lignificação das células esclerenquimáticas, aumentando a espessura da parede celular (MARSCHNER, 1995). Malavolta (1976) enfatiza ainda, que o potássio aumenta a espessura das paredes celulares do caule, o que explica a maior resistência oferecida pela planta ao tombamento pelo vento. Isso não ocorre porque o potássio faz parte de algum componente estrutural da planta, mas sim, pela ativação enzimática no processo de transporte de nitrogênio e conseqüentemente crescimento e desenvolvimento celular, o que confere aumento de tecidos na planta (STROMBERGER et al., 1994).

A deficiência de potássio normalmente reduz o tamanho dos internódios, a dominância apical e o crescimento das plantas, retarda a floração e frutificação e ocorre diminuição no tamanho dos frutos, com redução significativa da área verde foliar, afetando a fotossíntese. Como o potássio é um nutriente móvel no floema, os sintomas de deficiência, normalmente caracterizados por clorose nas bordas das folhas seguida de necrose, surgem, nas folhas mais velhas das plantas. Quando a necrose atinge a nervura da folha, esta curva-se para baixo, seguida de sua queda prematura (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

Vafaie et al. (2013), verificaram maior rendimento na produção de capítulos por planta de cártamo, em resposta a adubação com potássio e magnésio na dose de 120

kg ha⁻¹ e 75 kg ha⁻¹, respectivamente. Esses autores enfatizaram que ao contrário de magnésio, o potássio teve um efeito positivo sobre as folhas, especialmente no teor relativo de água das folhas.

De acordo com Palizdar et al. (2011) maiores níveis de adubação potássica resultou em aumento significativo nas características de produção e qualidade do cártamo, como peso de 1000 sementes, rendimento de sementes, conteúdo de óleo na semente e rendimento de óleo. Essas características mostraram aumento de 34, 58, 15 e 79%, respectivamente, com o aumento do nível de adubação potássica a partir de 0 a 150 kg ha⁻¹.

Uchôa et al. (2011) estudando cultivares de girassol submetidas a doses de potássio observaram que a dose de máxima eficiência econômica para produtividade de aquênio e produtividade de óleo foi de 74,5 e 80,1 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura, respectivamente.

Abbadi et al. (2008), ao investigar a eficiência do potássio nas culturas do cártamo e do girassol, concluíram que a massa de sementes por capítulo e o número de capítulos por plantas foram os componentes de rendimento que mais responderam à adubação potássica para a cultura do cártamo e que o girassol é mais sensível à oferta inadequada de potássio.

2.4 Relação nitrogênio:potássio

O suprimento de um nutriente pode influir na absorção, distribuição ou função de outro nutriente e resultar em deficiências induzidas, toxidez ou alteração nas respostas (CANTARELLA, 2007).

A adubação nitrogenada tem proporcionado respostas produtivas abaixo das esperadas em virtude de inadequadas concentrações de potássio, mostrando relação entre a absorção e o aproveitamento destes dois macronutrientes (MONTEIRO et al., 1980). O potássio apresenta um efeito sinérgico positivo com a adubação nitrogenada na planta (MEGDA e MONTEIRO, 2010).

A interação mais comum relacionada com o nitrogênio é a que acontece com o potássio. Esses são os dois nutrientes minerais absorvidos em maiores quantidades em quase todas as plantas e a absorção de um nutriente eleva a demanda pelo outro. O estímulo do crescimento provocado pela adição de nitrogênio requer um suprimento adequado de potássio, caso contrário, pode ocasionar deficiência deste nutriente por efeito diluição, e vice-versa. O suprimento balanceado de nitrogênio e de potássio

frequentemente aumenta a resposta a ambos, mas a não adição de um deles em solos deficientes pode levar a decréscimos na resposta ao outro, tanto em produção, quanto em acúmulo do nutriente (CANTARELLA, 2007).

O crescimento rápido resultante de uma alta concentração de nitrogênio requer um bom fornecimento de todos os outros elementos essenciais ao metabolismo vegetal. Os efeitos negativos do excesso de nitrogênio nas plantas podem ser amenizados se o fornecimento de fósforo e potássio for adequado para a taxa de crescimento produzido (TROEH e THOMPSON, 2007).

Tanto o nitrogênio quanto o potássio, isoladamente, afetam a relação parte aérea/sistema radicular das plantas. O desbalanceamento entre ambos pode ter efeitos drásticos, como rachadura de caules e acamamento das plantas, pois os caules se tornam frágeis quando os níveis de nitrogênio são altos e os níveis de potássio são baixos (MARSCHNER, 1986).

O nitrogênio em excesso, absorvido e metabolizado, induz nas plantas o aumento no teor de proteína em detrimento de carboidratos, resultando em desenvolvimento excessivo da parte aérea em relação à raiz. Além do acamamento, isso pode resultar em menor resistência à seca (MARSCHNER, 1986). O potássio aumenta a resistência ao acamamento, provavelmente em consequência da aceleração na lignificação das células do esclerênquima e do aumento na espessura do caule (PRETTY, 1982). Dessa forma, um possível excesso de nitrogênio associado à deficiência de potássio pode resultar em elevado nível de acamamento.

Singh (1998) ao estudar o efeito da adubação com nitrogênio, potássio e enxofre na cultura do cártamo verificou que com o aumento do nível de nitrogênio até 80 kg ha⁻¹ houve incremento significativo no acúmulo de matéria seca e no número de capítulos por planta. Por outro lado, o acúmulo de matéria seca não foi afetado significativamente com a aplicação de potássio e enxofre, porém os níveis crescentes desses nutrientes até 40 e 25 kg ha⁻¹, respectivamente, aumentou significativamente o número de capítulos por planta.

O nitrogênio e potássio são responsáveis, também, por evitar o déficit hídrico das culturas, afetando na eficiência do uso da água pelas culturas. O conteúdo de água na planta é o resultado do balanço das taxas de absorção e de perda de água (transpiração). O primeiro fator está fora de controle instantâneo, sendo dependente do sistema radicular da planta e de características físicas e do suprimento hídrico do solo. O segundo fator, controle da transpiração, é feito pelo fechamento estomático

que ocorre de forma instantânea, sendo o potássio um dos íons responsáveis por esse processo (PIMENTEL, 2004).

A água perdida para a atmosfera, pela transpiração, é uma consequência inevitável da necessidade de assimilação do CO₂ atmosférico, pela fotossíntese, pois, quando a planta abre os estômatos para a aquisição do CO₂, ocorre a perda de água pela transpiração (HSIAO e XU, 2000).

Assim, o controle da abertura estomática é primordial para a manutenção da taxa fotossintética máxima com uma mínima taxa de transpiração, tendo prioridade para manter a máxima fotossíntese, com a menor perda de água possível (FARQUHAR e SHARKEY, 1982), ou seja, acumulando maior quantidade de massa seca consumindo o mínimo volume de água, obtendo dessa forma, maior eficiência no uso de água.

Devido a participação do potássio na regulação osmótica dos tecidos das plantas por meio do controle da abertura e fechamento dos estômatos, a presença desse nutriente resulta em melhor capacidade de retenção de água, tornando a água disponível e suficiente para a realização dos processos químicos na célula sob condições desfavoráveis (ZARATIN et al., 2004). Sendo assim, esse nutriente está diretamente relacionado com o uso eficiente da água pelas culturas (PIMENTEL, 2004).

Além do potássio, a adubação nitrogenada também pode influenciar a quantidade de água extraída por uma cultura, e, conseqüentemente, pode afetar a eficiência no uso de água. O suprimento adequado de nitrogênio aumenta a profundidade do sistema radicular, bem como a massa total de raízes, assim, promove uma atenuação dos efeitos da seca, pois as raízes podem explorar camadas mais profundas no solo (DORDAS e SIOULAS, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação, da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis, localizada na latitude 16°27'49"S, longitude 50°34'47"O com 284 m de altitude, no período de julho a setembro de 2014.

O clima da região, segundo Köppen, é classificado como Aw, ou seja, clima quente e úmido, com estação chuvosa no verão e estiagem no inverno. Coletou-se dados de temperatura e umidade, no interior da casa de vegetação, com início a partir do décimo terceiro dia do mês de agosto e término na coleta do experimento, aos dezessete dias do mês de setembro.

A média das temperaturas máximas e mínimas, nesse período, foi de 37,3 e 22,6°C, respectivamente, apresentando, portanto, uma média de temperatura de 29,9°C (Figura 1A). A média das umidades relativas máximas e mínimas foi de 88,2 e 31,7%, respectivamente, observando uma umidade relativa média de 60% (Figura 1B).

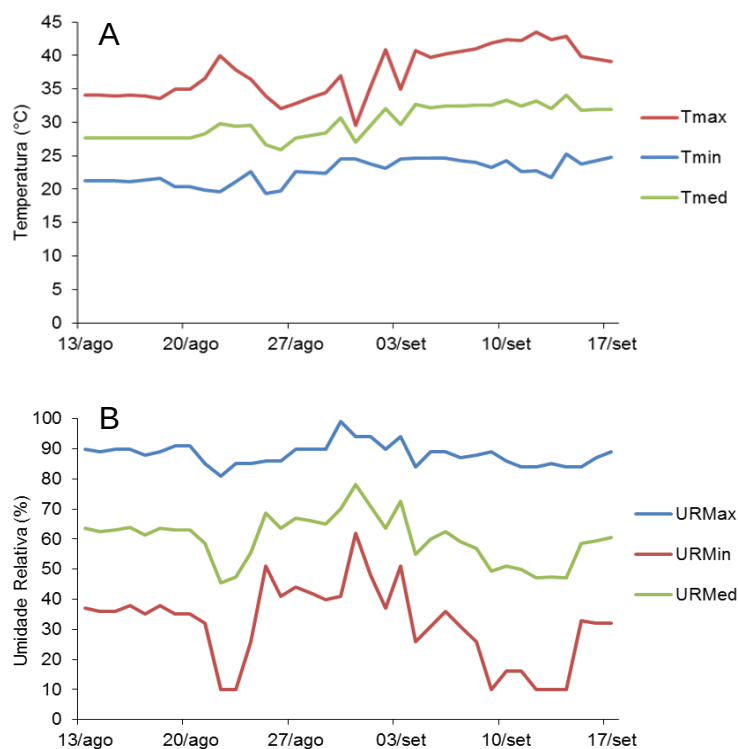


FIGURA 1. Temperatura máxima, mínima e média (A) e umidade relativa máxima, mínima e média (B), observada durante a condução do experimento.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 25 tratamentos e quatro repetições, arranjados em esquema fatorial 5x5, com cinco doses de nitrogênio (0, 60, 120, 180 e 240 mg dm⁻³) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³), totalizando 100 unidades experimentais. Utilizou-se como espécie vegetal, o cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), cultivar IMA 0213 (Figura 2).



FIGURA 2. Vista geral do experimento em casa de vegetação, composto por plantas de cártamo submetidas às doses de nitrogênio e potássio, aos 15 dias após a emergência.

3.3 Coleta, caracterização e correção do solo

O solo utilizado no experimento foi o Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2013), coletado em área sob vegetação de cerrado na camada de 0-0,20 m, passado em peneira de 2 mm, para realização da caracterização química e granulométrica, de acordo com a EMBRAPA (1997) (Tabela 1).

TABELA 1. Análises químicas e granulométricas na camada de 0–0,20 m, do Latossolo Vermelho.

pH	P	K	Ca	Mg	H	Al	SB	CTC	V	M.O.	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%	g dm ⁻³		g kg ⁻¹	
4,1	2,4	28	0,3	0,2	4,2	1,1	0,6	5,9	9,8	22,7	549	84	367

Para instalação do experimento em casa de vegetação, o solo foi peneirado em malha de 4 mm, e amostras com volume de 8 dm³ foram acondicionadas em sacos plásticos. A acidez do solo foi corrigida com a incorporação de calcário dolomítico (PRNT = 80,3%), elevando-se a saturação por bases ao nível de 60%. Após a calagem, o solo foi umedecido a 60% da capacidade de retenção de água, vedou-se o saco plástico para impedir a perda de água e o solo permaneceu incubado por 30 dias.

3.4 Manejo da adubação e semeadura

Após a incubação com calcário, para correção da acidez do solo, transferiu-se as amostras de solo para os vasos, e foi realizada a adubação de implantação, que consistiu na aplicação de fósforo, potássio e micronutrientes. A recomendação de fósforo (P₂O₅) foi de 150 mg dm⁻³ e para o potássio utilizou-se as doses correspondentes aos tratamentos, cujas fontes foram o superfosfato simples e o cloreto de potássio puro para análise (P.A.), respectivamente.

A adubação com micronutrientes foi realizada utilizando-se uma solução contendo 1 mg dm⁻³ de B e Cu, 3 mg dm⁻³ Mn e Zn e 0,2 mg dm⁻³ Mo, com as seguintes fontes: H₃BO₃, CuCl₂.2H₂O, MnCl₂.4H₂O, ZnSO₄.7H₂O e NaMoO₄.2H₂O, respectivamente.

O fósforo foi aplicado na forma sólida e granular na camada correspondente ao terço (1/3) superior do vaso, para aumentar a eficiência de absorção desse nutriente pelas raízes. Foram retirados 2,5 dm³ de solo do vaso, incorporou-se o adubo e retornou-se o solo para o vaso (Figura 3A e B). A aplicação das doses de potássio, realizada via solução, foi parcelada em duas vezes, sendo a primeira na semeadura e a segunda aos 10 dias após a emergência das plantas (Figura 4).

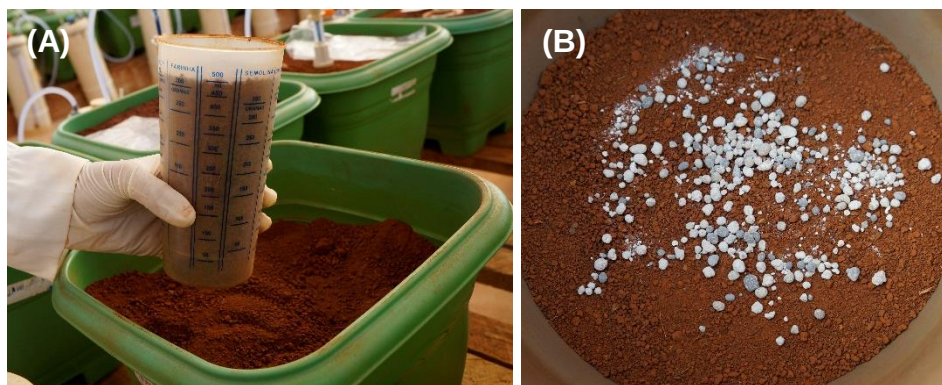


FIGURA 3. Retirada de uma amostra de solo de 2,5 dm³ (A); Incorporação do adubo fosfatado no interior de um recipiente (B).



FIGURA 4. Aplicação da adubação potássica e de micronutrientes, via solução, antes da semeadura.

A semeadura ocorreu utilizando-se 20 sementes por vaso, a dois centímetros de profundidade (Figura 5A). A elevada quantidade de sementes é justificada pela possibilidade de morte de algumas plantas devido a eventuais problemas ocasionados pela aplicação de altas doses de nitrogênio. Aos quatro dias após a semeadura ocorreu a emergência das plântulas (Figura 5B). Realizou-se três desbastes, aos três, nove e quinze dias após a emergência, deixando-se dez, seis e quatro plantas por vaso, respectivamente. Dessa forma, cada parcela experimental foi constituída de um vaso plástico com capacidade de 8 dm³ contendo quatro plantas de cártamo.

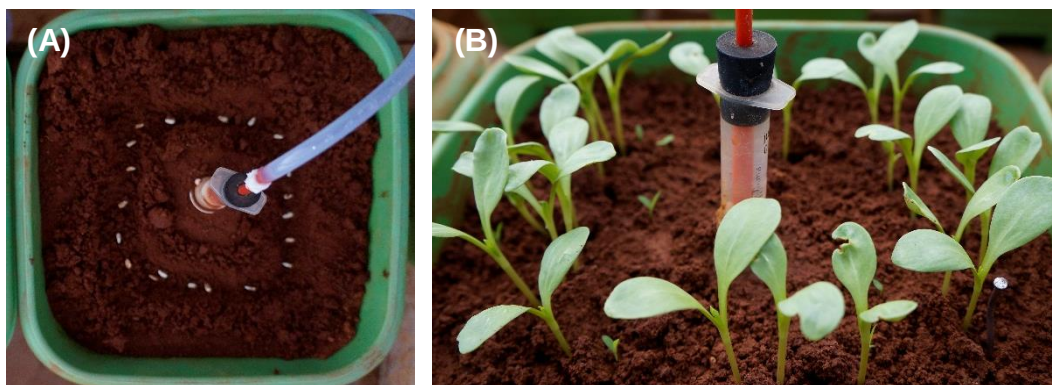


FIGURA 5. Semeadura do cártamo (A); Emergência das plântulas, aos quatro dias após a semeadura (B).

Após o segundo desbaste (10 dias após a emergência), realizou-se a aplicação da primeira parcela de nitrogênio nas doses correspondentes aos tratamentos, utilizando-se como fonte a ureia (Figura 6A e B). A adubação nitrogenada foi realizada via solução e parcelada em três aplicações (10, 20 e 30 DAE).

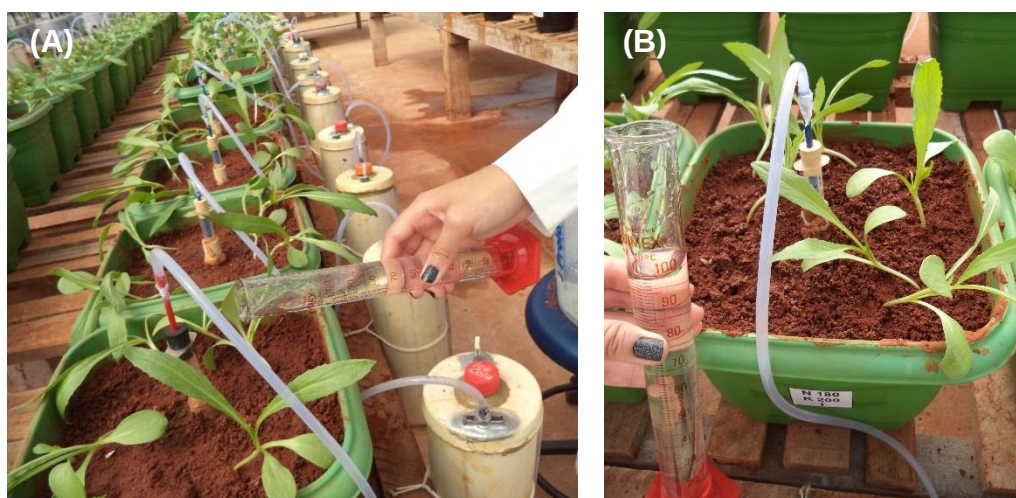


FIGURA 6. Aplicação da primeira parcela da adubação nitrogenada, de acordo com os tratamentos, aos dez dias após a emergência (A e B).

3.5 Manejo da irrigação

A umidade do solo foi mantida por um sistema autoirrigante subsuperficial, composto por uma cápsula de cerâmica porosa (vela de filtro com dimensões: 9 cm de altura e 5 cm de largura), conectada a um reservatório (frasco mariotte) por meio de um microtubo flexível (Figura 7). Esse sistema permite a reposição contínua de água ao solo, de acordo com a necessidade da cultura, ou seja, à medida que o sistema solo-planta perde água por evapotranspiração. A presença de uma escala de nível fixada no reservatório permite quantificar o consumo de água em cada unidade

experimental. Esse sistema de irrigação está de acordo com metodologia adaptada de Bonfim-Silva et al. (2007).

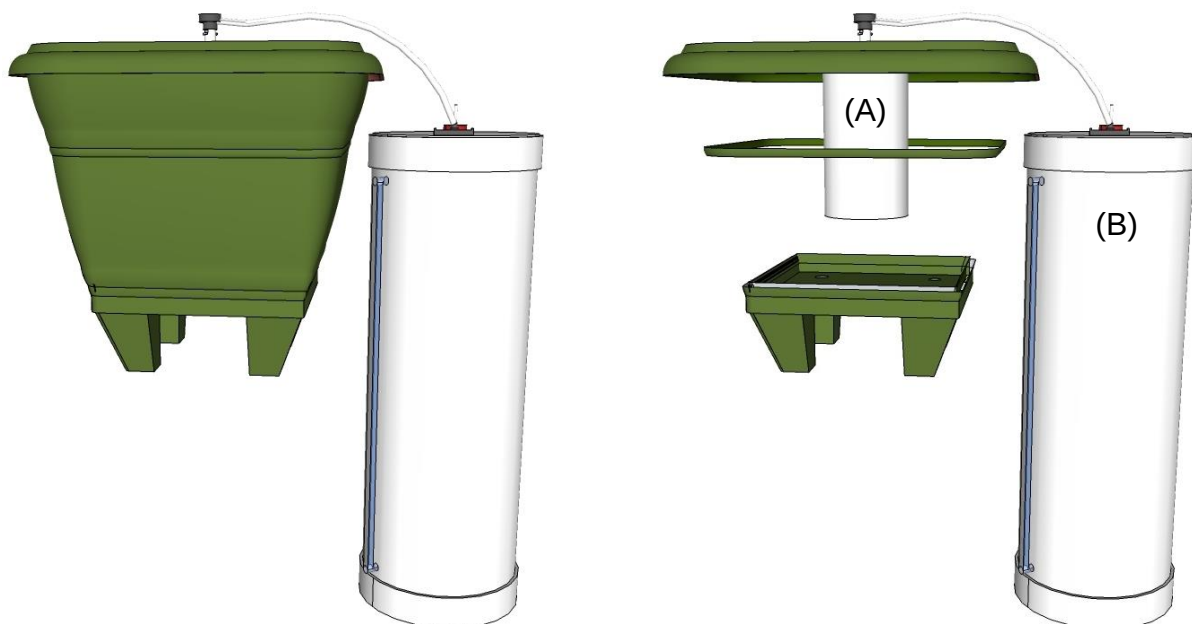


FIGURA 7. Sistema autoirrigante, composto por uma vela de filtro (A) conectada a um reservatório de água (frasco mariotte) (B).

No momento que retirou-se o volume de solo para realizar a adubação fosfatada na semeadura, alocou-se a vela de filtro no centro do vaso (Figura 8A) e cobriu-a com o solo adubado (Figura 8B e 8C). A vela encontrava-se conectada ao reservatório e este permaneceu suspenso, preso à bancada por um cordão de nylon (Figura 8D).



FIGURA 8. Alocação da vela de filtro na camada superficial e central do vaso (A); Preenchimento do vaso com solo adubado para cobrir a vela (B e C); Vela conectada ao reservatório de água através de um microtubo flexível (D).

A tensão de água no solo foi determinada pela altura de coluna de água, estabelecida pela distância entre o centro da vela e a extremidade inferior do reservatório. Durante a condução do experimento, efetuou-se alteração na altura de coluna de água, de acordo com a necessidade da cultura. Na fase inicial de desenvolvimento da cultura, estabeleceu-se a altura de coluna de água de 30 cm, correspondente a uma tensão controlada de 3 kPa (Figura 9A). A partir de 20 dias após a emergência (DAE), os reservatórios foram rebaixados a uma altura de 40 cm (4 kPa) entre os mesmos e o vaso (Figura 9B), pois verificou-se excesso de umidade no solo. A partir dos 45 DAE, em virtude do aumento da demanda hídrica da cultura, devido ao aumento de massa vegetal, os reservatórios foram suspensos a uma altura de 20 cm (2 kPa) (Figura 9C).



FIGURA 9. Altura entre o reservatório e o vaso: 30 cm, aos 10 DAE (A); 40 cm, aos 20 DAE (B); 20 cm a partir de 45 DAE (C).

3.6 Variáveis analisadas

Aos 55 dias após a emergência, no início da floração, realizou-se a primeira avaliação das unidades experimentais. Foram determinadas características fitométricas: número de folhas, altura de plantas e diâmetro do caule; nutricional: índice de clorofila; e consumo de água.

Foi realizada a contagem das folhas presentes em cada parcela experimental, sendo os seus valores expressos em unidades. A altura de plantas foi realizada

medindo a distância vertical entre a superfície do solo e o ápice das plantas, com auxílio de régua graduada e folha sulfite.

O diâmetro do caule foi obtido a partir de uma média de leitura das quatro plantas contidas no vaso, a uma altura de 2 cm da superfície do solo, utilizando um paquímetro analítico (Figura 10A).

O índice de clorofila foi determinado por meio do clorofilômetro Minolta SPAD-502, em folhas aleatórias, localizadas no terço médio das plantas (Figura 10B). A média de cinco leituras foi considerada como o índice de clorofila de cada unidade experimental.

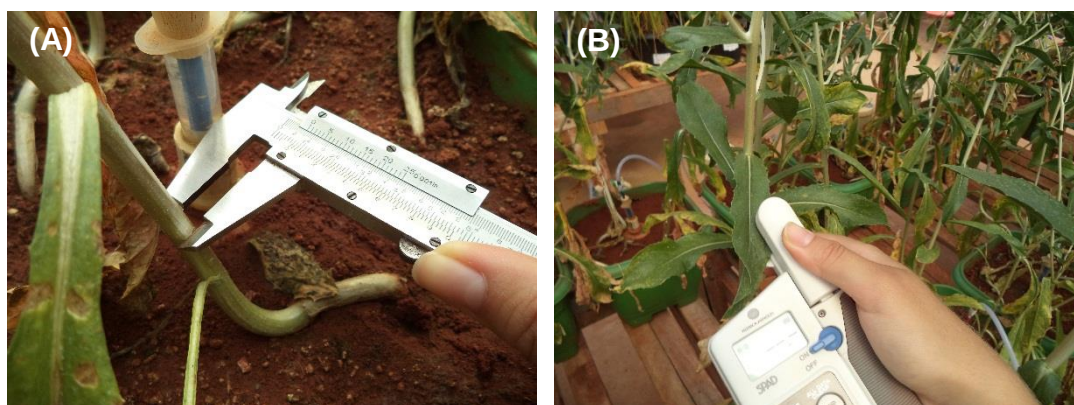


FIGURA 10. Determinação do diâmetro do caule com auxílio de paquímetro analítico (A); Determinação do índice de clorofila por meio do clorofilômetro Minolta SPAD-502 (B).

Aos 74 dias após a emergência, realizou-se a segunda avaliação em que determinou-se, além das variáveis da primeira avaliação, características fitométricas: o número e diâmetro de capítulos; produtivas: massa seca de capítulos, parte aérea, raízes e total; nutricionais: concentração e acúmulo de nitrogênio e potássio na parte aérea e nos capítulos; e eficiência no uso da água.

Foi realizado o corte da parte aérea no colo das plantas, sendo que a massa foliar foi separada dos capítulos. As raízes foram coletadas e lavadas sobre peneira de 4 mm. Todo o material coletado foi acondicionado em saco de papel e submetido à secagem em estufa de circulação de ar, a 65°C por 72 horas, e em seguida, foi pesado.

A massa seca da parte aérea e dos capítulos foram trituradas, separadamente, em moinho tipo Willey, passadas em peneira de 2 mm, e coletadas amostras para determinação da concentração de nitrogênio e potássio, por meio dos métodos

propostos por Malavolta et al. (1997). Foram calculadas as quantidades de nutrientes acumuladas na planta, multiplicando-se as concentrações dos nutrientes em cada parte do vegetal pela quantidade de massa seca produzida por vaso.

Para quantificar o consumo de água em cada parcela experimental, foram realizadas leituras na escala de nível fixa no reservatório, baseando-se no conteúdo de água existente na reposição anterior. O intervalo de dias do reabastecimento para a próxima leitura variou durante os estádios de desenvolvimento da cultura. A escala de nível foi feita utilizando unidade de medida de comprimento (cm). A coluna de água (cm) consumida foi convertida para unidade de volume com base no diâmetro do reservatório. Efetuou-se o somatório da quantidade de água consumida em todas as leituras para obter um valor de consumo final, até o estágio que a planta se encontrava no momento da avaliação.

A partir da relação entre a massa seca total (parte aérea + raiz) da planta (g vaso^{-1}) e o consumo de água (L vaso^{-1}), foi calculada a eficiência do uso de água (g/L) pela cultura do cártamo, em função das doses de nitrogênio e de potássio.

3.7 Análises estatísticas

Todas as variáveis foram avaliadas estatisticamente, com análise em superfície de resposta por meio do emprego do “Statistical Analysis System” (SAS, 2002). Inicialmente foi realizada a análise de variância para as combinações das doses de nitrogênio e potássio e, em função do nível de significância do teste F para essas combinações, efetuou-se o estudo por superfície de resposta, por meio do procedimento RSREG. Nos casos em que a interação entre doses de nitrogênio e potássio não foi significativa, efetuou-se o estudo de regressão de primeiro e segundo grau, utilizando-se o comando GLM. Utilizou-se o nível máximo de significância de 5% em todos os testes estatísticos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância não revelou significância para interação entre as doses de nitrogênio e potássio, nas duas avaliações (55 e 74 dias após a emergência) para todas as variáveis analisadas. Entretanto, houve efeito significativo, de forma isolada, dos fatores doses de nitrogênio e de potássio, para as variáveis analisadas nas duas avaliações.

4.1 Número de folhas

O número de folhas de plantas de cártamo foi influenciado pelas doses de nitrogênio e potássio, de forma isolada (Figuras 11 e 12). Observa-se que esta variável, em função do nitrogênio, ajustou-se a modelo quadrático de regressão, com maior produção (267 e 298 folhas) na dose de 123 e 128 mg dm⁻³, respectivamente, aos 55 e 74 dias após a semeadura (Figura 11).

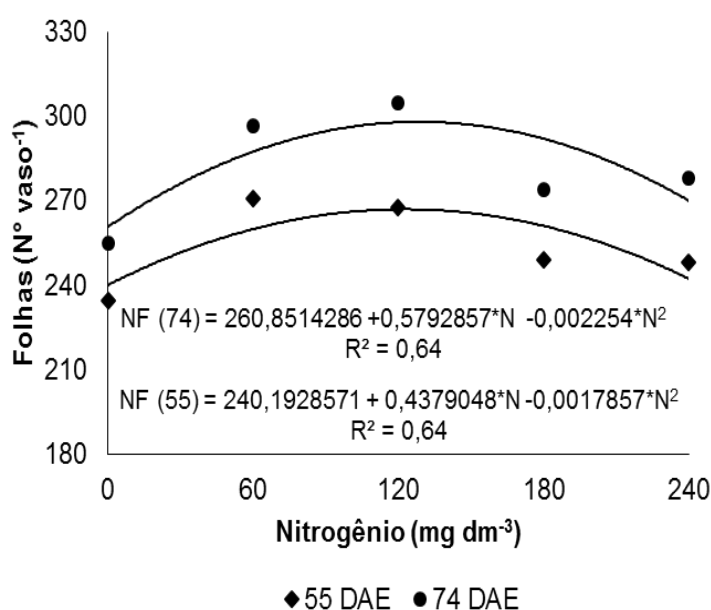


FIGURA 11. Número de folhas aos 55 e 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. NF - Número de folhas; N – Nitrogênio.

* Significativo a 5%.

Esses resultados demonstram a importância do nitrogênio no aumento de folhas nos vegetais. Isso ocorre devido a influência desse nutriente no crescimento vegetativo das plantas, por ser constituinte de compostos orgânicos essenciais, como aminoácidos e proteínas, ácidos nucleicos, hormônios e clorofila (CANTARELA, 2007).

Dessa forma, o nitrogênio favorece maior produção vegetal, pois o aumento no número de folhas, associado ao seu tamanho, contribui para o aumento da área foliar e, em contrapartida, interfere positivamente na interceptação da energia solar incidente, promovendo, por conseguinte, maior assimilação de carbono, o qual pode contribuir significativamente para aumentar o acúmulo de massa seca pelas plantas (CRUZ et al., 2007).

A relevância do nitrogênio para o crescimento vegetativo das culturas tem sido reportada na literatura. Biscaro et al. (2008) verificaram efeito significativo, descrito por modelo quadrático, no número de folhas de plantas de girassol, em função da adubação nitrogenada, cuja dose de 80 kg ha⁻¹ proporcionou a maior produção de folhas, aos 30 e 45 dias após a emergência. Fagundes et al. (2007) observaram que o aumento da dose de nitrogênio resultou em maior número final de folhas, sendo que a dose de 113,5 mg dm⁻³ foi responsável pela maior produção de folhas de girassol de vaso.

Nesse contexto, observa-se que esses estudos utilizando plantas de girassol, cultura pertencente à família do cártamo, submetido a doses de nitrogênio, também apresentaram resposta polinomial do número de folhas, indicando aumento de produção com o fornecimento de nitrogênio ao solo e decréscimo quando este nutriente encontra-se em excesso, devido, possivelmente ao efeito antagônico do nitrogênio, reduzindo a absorção de outros nutrientes.

Para o potássio, verifica-se maior número de folhas com o aumento do teor desse nutriente no solo, apresentando incremento de 21%, quando comparado à maior dose (200 mg dm⁻³) com a ausência de adubação potássica (Figura 12), estando de acordo com Silva et al. (2013), que utilizando manipueira como fonte de potássio, verificaram que a maior dose estudada (136 m³ ha⁻¹), que corresponde a 400 kg ha⁻¹ de potássio, proporcionou um incremento de 29% no número de folhas de plantas de girassol, quando comparada à testemunha.

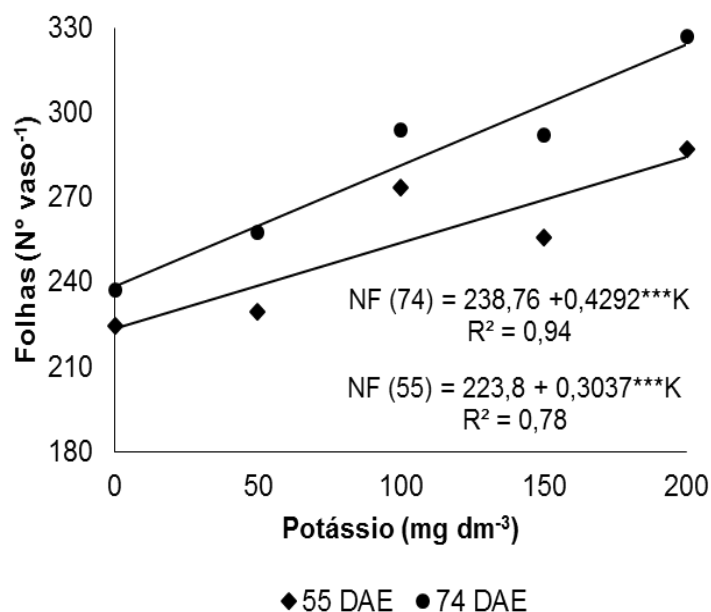


FIGURA 12. Número de folhas aos 55 e 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. NF - Número de folhas; K – Potássio. *** Significativo a 0,1%.

O aumento do número de folhas com o incremento da adubação potássica ocorre devido a esse nutriente participar direta ou indiretamente de inúmeros processos bioquímicos envolvidos com o metabolismo de carboidratos, como a fotossíntese e a respiração, além da ativação enzimática (Coelho et al., 2007).

Jesus et al. (2013) verificaram que houve uma elevação no número de folhas das mudas de girassol, com a aplicação do potássio, até a dose estimada de 173,86 mg L⁻¹. Entretanto, nesse estudo, o cártamo apresentou maior requerimento de potássio, pois a maior dose estudada de potássio (200 mg dm⁻³), não foi suficiente para atingir a máxima produção de folhas.

4.2 Altura de plantas

Para a altura de plantas, aos 55 DAE, houve efeito isolado das doses de nitrogênio e potássio, e aos 74 DAE somente o segundo nutriente revelou significância, com ajuste a modelo de regressão de primeiro grau (Figuras 13 e 14).

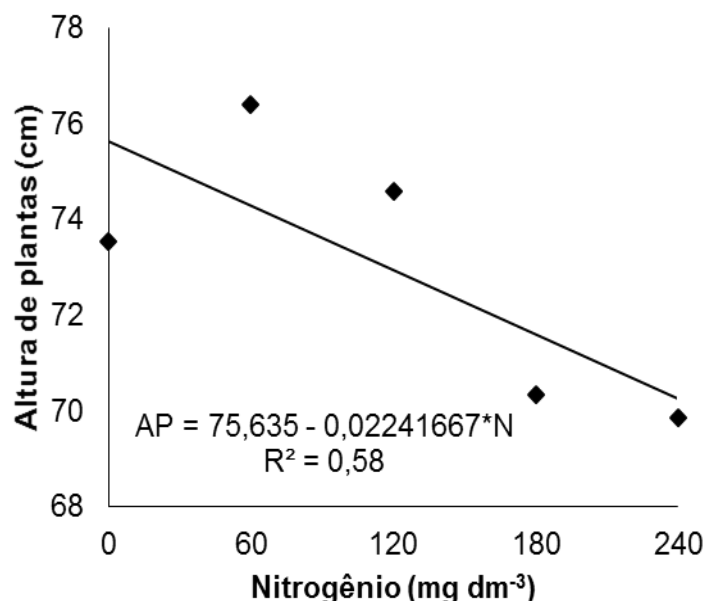


FIGURA 13. Altura de plantas de cártamo aos 55 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. AP - Altura de plantas; N – Nitrogênio. * Significativo a 5%.

O alongamento do caule e, conseqüentemente, a altura de plantas, em geral, é influenciada pela aplicação de doses elevadas de nitrogênio, o qual aumenta a produção de fitormônios promotores de crescimento e desenvolvimento, responsáveis pelos processos de divisão celular (MARSCHNER, 1995).

No entanto, pode-se observar que as doses de nitrogênio elevadas proporcionaram redução do crescimento das plantas de cártamo aos 55 DAE. De acordo com o modelo de regressão, a ausência de adubação resultou em plantas maiores, no entanto, plantas mais altas não necessariamente acumulam mais massa seca, pois o cártamo é uma cultura altamente ramificada. Sendo assim, o acúmulo de massa seca não depende apenas da altura da planta, mas também do desenvolvimento dos ramos (KOUTROUBAS et al., 2004).

Esses resultados discordam dos observados por El-Mohsen e Mahmoud (2013), que verificaram que níveis crescentes da adubação nitrogenada até a dose de 120 kg ha⁻¹ proporcionaram aumento na altura de plantas de cártamo.

Com relação à adubação potássica, o incremento das doses desse nutriente até 200 mg dm⁻³ propiciou maior altura de plantas, 78,14 e 83,83 cm, respectivamente, aos 55 e 74 dias após a emergência (Figura 14). Por outro lado, Abaddi et al. (2008) constataram que a dose de 90 mg dm⁻³, equivalente a menos da metade da observada

nesse estudo, foi responsável pela maior altura de plantas (99,7 cm) de cártamo, em função da adubação potássica.

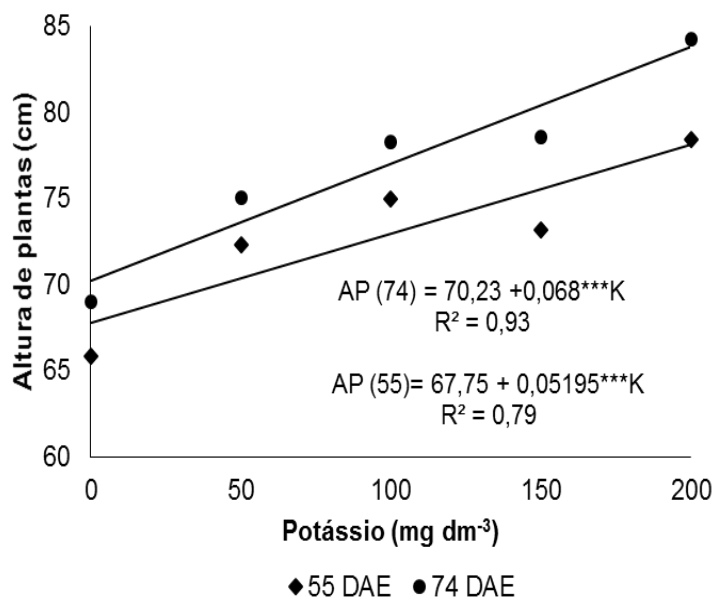


FIGURA 14. Altura de plantas de cártamo aos 55 e 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. AP - Altura de plantas; K – Potássio. *** Significativo a 0,1%.

Abbasieh et al. (2013), estudando níveis de potássio na cultura do cártamo, em condições de campo, verificaram que a dose de 150 kg ha⁻¹ proporcionou a maior altura de plantas (127,4 cm), sendo este valor superior à máxima altura encontrada neste trabalho (90 cm), possivelmente, devido ao menor volume de solo explorado, em decorrência das limitações do vaso.

O incremento na altura de plantas com o aumento das doses de potássio ocorre devido a esse nutriente ser responsável pela ativação enzimática no processo de transporte do nitrogênio e, conseqüentemente, crescimento e desenvolvimento celular, o que confere aumento de tecidos na planta (STROMBERGER et al.,1994). Entretanto, na ausência de adubação com potássio, houve carência desse nutriente, uma vez que o solo utilizado não dispunha de teores adequados do mesmo, refletindo em uma baixa taxa de crescimento da planta.

4.3 Diâmetro de caule

As doses de nitrogênio e potássio proporcionaram efeito significativo isolado para o diâmetro do caule nas duas avaliações realizadas (55 e 74 DAE). A resposta da adubação nitrogenada para esta variável seguiu modelo de regressão polinomial, sendo os maiores diâmetros de caule observados nas doses de nitrogênio de 106 e 87 mg dm⁻³, aos 55 e 74 DAE, respectivamente (Figura 15).

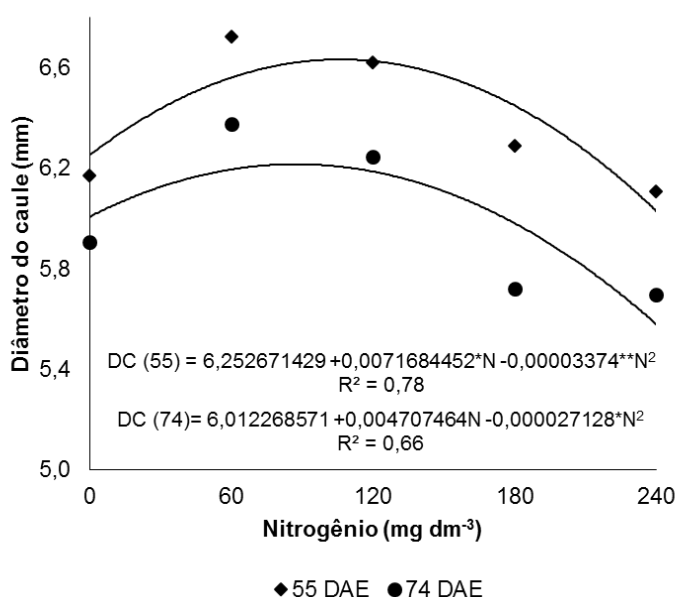


FIGURA 15. Diâmetro do caule de plantas de cârtamo aos 55 e 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. DC - Diâmetro do caule; N – Nitrogênio. ** e * Significativo a 1 e 5%, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Biscaro et al. (2008) que constataram efeito quadrático no diâmetro do caule de plantas de girassol em função da adubação nitrogenada.

Nota-se que a redução do diâmetro do caule é maior quando compara-se a maior dose de nitrogênio com o tratamento que proporcionou máximo diâmetro do que a ausência de adubação com a melhor dose de nitrogênio. Assim, fica evidente a importância do balanço nutricional entre os nutrientes, ou seja, a lei do máximo, para evitar perdas de produção e de adubos.

É possível perceber que houve redução do diâmetro de caule da primeira para a segunda avaliação, pois nesta última ocasião, as plantas estavam no final do florescimento, iniciando o processo de transferência de reservas de carboidratos do

caule para os capítulos, estando de acordo com Dordas e Sioulas (2009) que afirmaram que as reservas do caule podem ser utilizadas para o enchimento de grãos.

Para o potássio, aos 55 DAE, o diâmetro do caule ajustou-se a modelo linear de regressão. Assim, o maior valor de diâmetro do caule foi obtido quando a maior dose de potássio (200 mg dm⁻³) foi aplicada. Entretanto, aos 74 DAE, esta variável respondeu à adubação potássica de forma quadrática, sendo que a dose de 167 mg dm⁻³ proporcionou o máximo diâmetro de caule (6,37 mm) de plantas de cártamo (Figura 16).

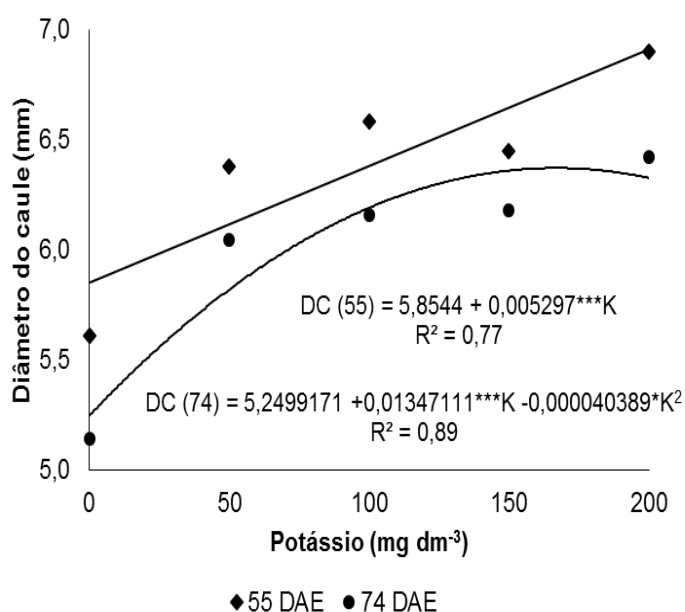


FIGURA 16. Diâmetro do caule de plantas de cártamo aos 55 e 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. DC - Diâmetro do caule; K – Potássio. *** e * Significativo a 0,1 e 5%, respectivamente.

Na segunda avaliação, houve incremento de 17,6% no diâmetro de caule, quando comparado a dose de potássio (167 mg dm⁻³) que proporcionou o maior valor desta variável com a ausência de adubação potássica. Dessa forma, os resultados estão de acordo com Jesus et al. (2013), os quais trabalhando com adubação potássica em mudas de girassol, verificaram uma elevação no diâmetro do caule até a dose de potássio de 197,27 mg L⁻¹, promovendo incremento de 25,32% no valor dessa variável quando comparada a testemunha (sem aplicação de potássio). Uchôa et al. (2011), observaram maior valor de diâmetro do caule na dose de potássio de 65,6 kg ha⁻¹ aplicado em cobertura em plantas de girassol.

O diâmetro do caule é uma característica muito importante no girassol, planta da mesma família (Asteraceae) que o cârtamo, pois permite que ocorra menos acamamento da cultura e facilita seu manejo, tratos e colheita (BISCARO et al., 2008). A relevância do estudo dessa variável aplica-se também ao cârtamo, pois esta cultura apresenta problemas de acamamento que prejudicam, dentre outras etapas, a colheita mecanizada.

Nesse contexto, o potássio é um nutriente de muita relevância, pois seu suprimento adequado promove maior formação de esclerênquima (tecido lenhoso de suporte) nas paredes celulares do caule, tornando-as mais resistentes à ruptura; e maior desenvolvimento de raízes, aumentando a fixação da planta ao solo, reduzindo, dessa forma, o acamamento das plantas (VIANA, 2007).

4.4 Número de capítulos

Houve efeito isolado das doses de nitrogênio e potássio no número de capítulos do cârtamo, com ajuste a modelo quadrático e linear de regressão, respectivamente (Figuras 17 e 18). Com relação à adubação nitrogenada a maior produção de capítulos (22) foi verificada na dose de nitrogênio de 137 mg dm⁻³ (Figura 17).

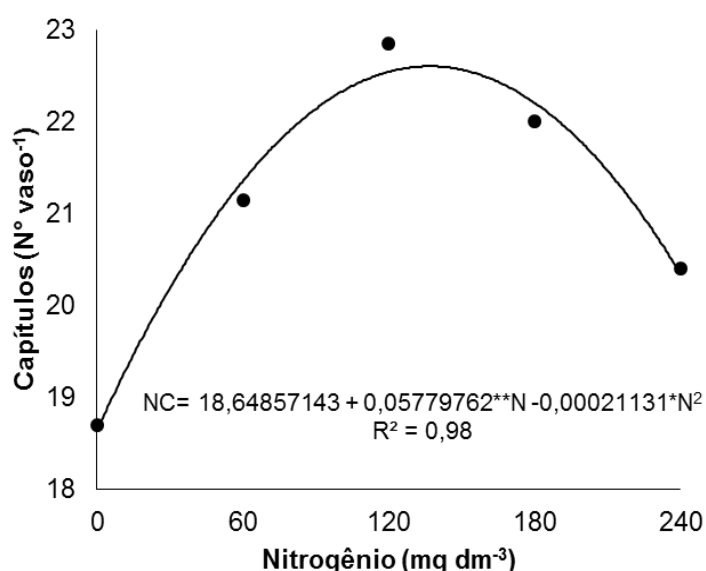


FIGURA 17. Número de capítulos de plantas de cârtamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. NC – Número de capítulos; N - Nitrogênio. **, e * Significativo a 1 e 5%, respectivamente.

O número de capítulos por planta é um dos componentes de rendimento mais importante, pois está diretamente relacionado com a produção final da cultura. O aumento da produção de capítulos ocorrido entre a testemunha e a dose de nitrogênio de 137 mg dm^{-3} , que proporcionou maior número de capítulos, pode ser atribuído à maior disponibilidade de nitrogênio, pois este nutriente promove aumento no crescimento vegetativo o que leva a uma melhor frutificação. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Gilbert e Tucker (1967) e Jones e Tucker (1968) que constataram que a adubação nitrogenada aumenta os componentes do rendimento do cártamo e, principalmente, o número de capítulos e o peso de sementes por planta.

De forma semelhante aos resultados desse estudo, outros autores constataram relação positiva entre a adubação nitrogenada e o número de capítulos de plantas de cártamo. El-Mohsen e Mahmoud (2013), encontraram o número máximo de capítulos por planta na dose de nitrogênio de 80 kg ha^{-1} e o número mínimo foi registrado no tratamento controle. Leilah et al. (1992) indicaram que os níveis crescentes de nitrogênio aumentaram significativamente o número de capítulos por planta de cártamo. Siddiqui e Oad (2006), verificaram maior número de capítulos em plantas que receberam maiores níveis de nitrogênio (120 à 180 kg ha^{-1}), sendo que a produção mínima foi observada em parcelas que não receberam esse nutriente.

Para o potássio, observou-se que a maior dose do intervalo experimental (200 mg dm^{-3}) resultou em um incremento de 26,35% na produção de capítulos, quando comparado ao tratamento que não recebeu adubação potássica (Figura 18).

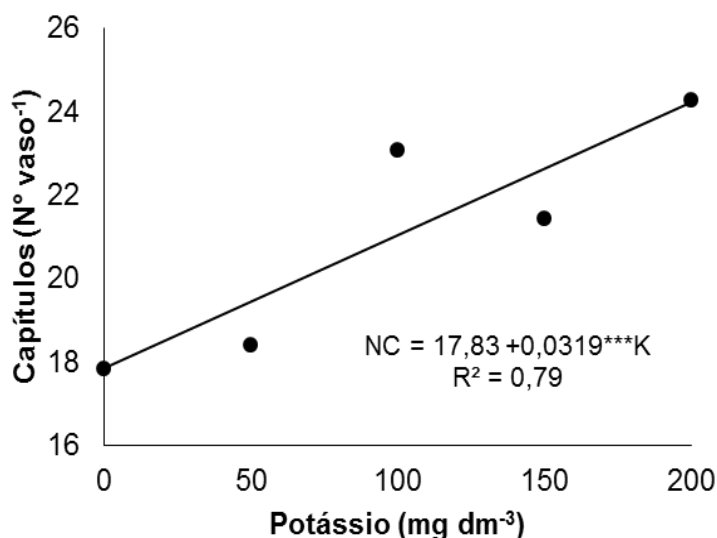


FIGURA 18. Número de capítulos de plantas de cârtamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. NC – Número de capítulos; K - Potássio. *** Significativo a 0,1%.

Esses resultados corroboram com Palizdar et al. (2011), os quais estudando a interação de doses de potássio e lâminas de água na cultura do cârtamo, observaram efeito linear crescente das doses de potássio para o número de capítulos por planta, verificando que o aumento da produção de capítulos na maior dose (150 kg ha⁻¹) foi da ordem de 40%, em relação ao tratamento com ausência de adubação potássica.

4.5 Diâmetro de capítulos

O diâmetro de capítulos apresentou diferença significativa para a adubação nitrogenada, ajustando-se a modelo quadrático de regressão, com maior valor (2,04 cm) proporcionado pela dose de nitrogênio de 122 mg dm⁻³ (Figura 19).

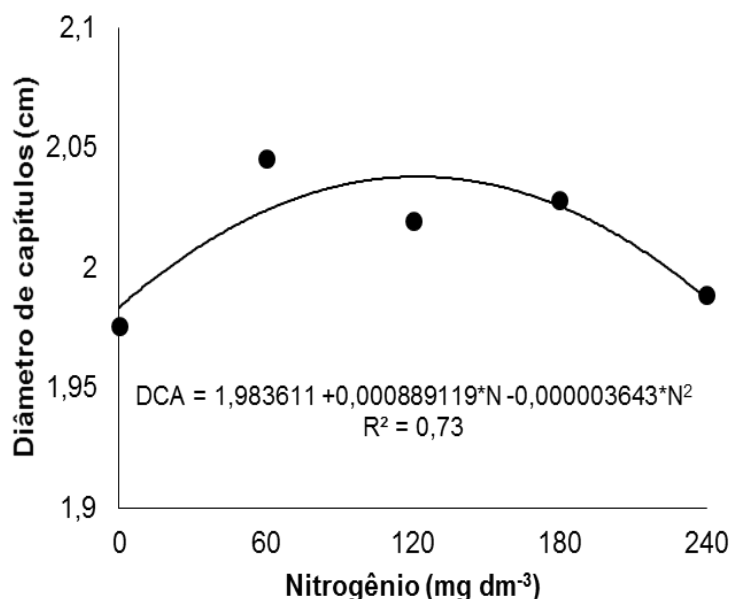


FIGURA 19. Diâmetro de capítulos aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. DCA – Diâmetro de capítulos; N – Nitrogênio. * Significativo a 5%.

Estes resultados estão de acordo com os reportados por diversos autores incluindo Seadh et al. (2012), Bitarafan et al. (2012) e Golzafar et al. (2011), que verificaram aumento do diâmetro de capítulos da cultura do cártamo, em função do incremento de adubação nitrogenada.

O diâmetro do capítulo é um dos principais determinantes do rendimento do cártamo (AL-DOORI, 2013). O nitrogênio, sendo responsável pelo crescimento das plantas e favorecendo a absorção de outros nutrientes, proporciona maior rendimento da cultura (SEADH et al., 2012). Dentre os componentes de rendimento, o diâmetro do capítulo é uma das características morfológicas mais afetadas pela adição de nitrogênio, sendo dessa forma, constatado aumento do diâmetro de capítulos com doses pequenas de nitrogênio (SAMENI et al., 1976). Porém, observou-se neste estudo que esse aumento não é contínuo com o incremento da adubação nitrogenada, pois houve redução do diâmetro, a partir da dose de nitrogênio de 122 mg dm⁻³, sendo que resultado semelhante já havia sido observado por Al-Doori (2013).

4.6 Massa seca da parte aérea

A massa seca da parte aérea foi influenciada significativamente pelas doses de nitrogênio e potássio, isoladamente (Figuras 20 e 21). Os dados dessa variável ajustaram-se a modelo quadrático de regressão, em função das doses de nitrogênio.

Por meio da equação de regressão, verificou-se que a dose de nitrogênio de 95 mg dm⁻³ promoveu maior produção de massa seca (33,22 g vaso⁻¹) de plantas de cártamo (Figura 20).

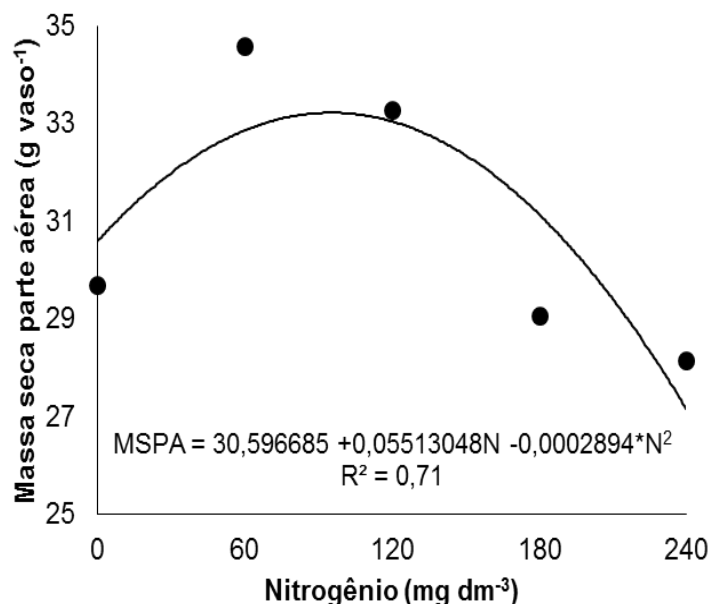


FIGURA 20. Massa seca da parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. MSPA - Massa seca da parte aérea; N - Nitrogênio. * Significativo a 5%.

Verificou-se que para o incremento da massa seca da parte aérea do cártamo, torna-se necessário o suprimento racional com doses de nitrogênio, com o objetivo de maximizar a área fotossinteticamente ativa, responsável por interceptar a radiação solar, promovendo o crescimento da cultura (MEGDA e MONTEIRO, 2010).

Os resultados do presente estudo estão de acordo com Dordas e Sioulas (2009) que verificaram que o acúmulo de massa seca de cártamo variou de acordo com as doses de nitrogênio fornecidas ao solo, sendo a maior quantidade de massa seca encontrada na maior dose de nitrogênio estudada (200 kg ha⁻¹). Aumento na produção de massa seca da parte aérea do cártamo, com incremento da adubação nitrogenada, também foi constatado por Golzafar et al. (2011), que obtiveram a máxima produção na dose de 150 kg ha⁻¹.

A produção de massa seca da parte aérea foi incrementada pelo suprimento das doses de potássio, segundo modelo linear de regressão, variando de 23,9 a 37,97 g vaso⁻¹, apresentando incremento de 37% quando comparado à maior dose de potássio (200 mg dm⁻³), com a ausência desse nutriente (Figura 21).

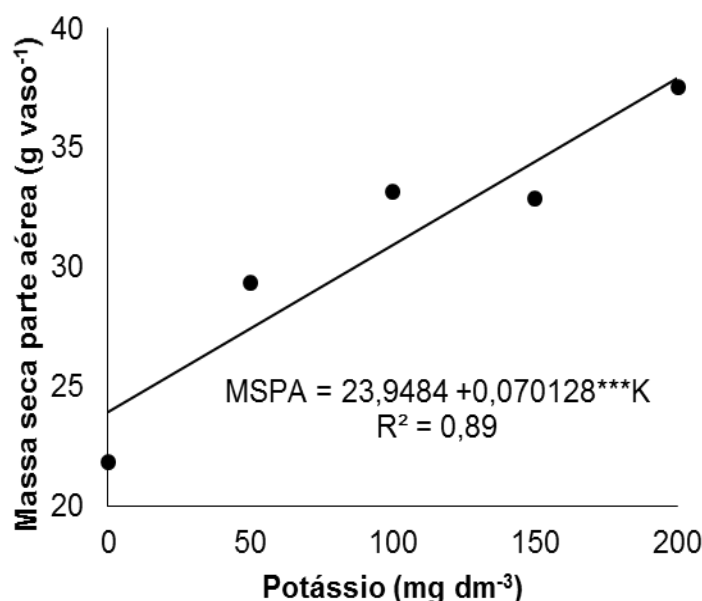


FIGURA 21. Massa seca da parte aérea de plantas de cântamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. MSPA - Massa seca da parte aérea; K - Potássio. *** Significativo a 0,1%.

Aumento na massa seca da parte aérea proporcionado por doses inferiores às encontradas neste estudo foram relatados por Abbadi et al. (2008), que ao avaliar o crescimento do cântamo, obtiveram o máximo valor estimado de produção de massa seca da parte aérea, com o suprimento de potássio de 90 mg dm⁻³.

O aumento da massa seca de plantas de cântamo, em função do incremento linear de doses de potássio, também foi verificado por Abbasieh et al. (2013), sendo que a dose de potássio de 150 Kg ha⁻¹ proporcionou a máxima produção de massa seca.

Trabalhos com outras culturas também demonstram a importância do potássio para o incremento de massa seca, como para o girassol, onde a aplicação do potássio proporcionou a elevação da massa seca das plantas até a dose estimada de 181,25 mg L⁻¹ (JESUS et al., 2013). Ferrari Neto (1991) verificou que a produção de massa seca dos capins Braquiária e Colonião foi influenciada pelo potássio, pois na não aplicação do nutriente, a produção dessas plantas forrageiras, em dois cortes, correspondeu a 30% daquela do tratamento completo.

4.7 Massa seca de capítulos

Para a massa seca de capítulos houve significância de maneira isolada das doses de nitrogênio e potássio, com os resultados descritos por modelo quadrático e linear de regressão, respectivamente (Figuras 22 e 23). Com relação à adubação nitrogenada, pode-se observar que a maior massa seca de capítulos ($19,2 \text{ g vaso}^{-1}$) foi verificada na dose de nitrogênio de 124 mg dm^{-3} (Figura 22).

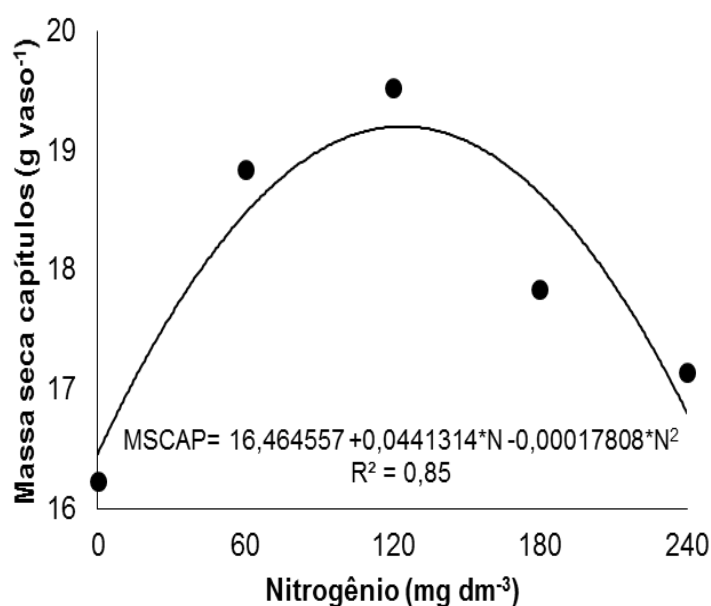


FIGURA 22. Massa seca de capítulos de plantas de cârtamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. MSCAP - Massa seca de capítulos; N - Nitrogênio. * Significativo a 5%.

Dordas e Sioulas (2009) também verificaram que o nitrogênio contribuiu para o aumento da massa seca de capítulos, porém, esses autores observaram a máxima produção de capítulos na maior dose de nitrogênio testada (200 kg ha^{-1}).

Os resultados demonstram que a adubação nitrogenada é um dos fatores que interferem na produção de capítulos; portanto, no rendimento da cultura do cârtamo. Isso ocorre, pois a produção de massa seca vegetal está diretamente relacionada ao fornecimento de nitrogênio; portanto, quando o suprimento desse nutriente é baixo, há menor produção de massa seca, especialmente nas folhas, o que afeta a produção de fotoassimilados e distribuição de assimilados para os órgãos reprodutivos, refletindo na massa seca de capítulos (DORDAS et al., 2008). Por outro lado, nota-se, por meio da resposta quadrática dos resultados, que o excesso de nitrogênio na adubação acarretou em diminuição na produção de capítulos.

É possível observar que a massa seca de capítulos de plantas de cártamo aumentou linearmente com o suprimento de potássio, apresentando um incremento de 33% quando comparado a maior dose de potássio com a não aplicação do nutriente ao solo (Figura 23).

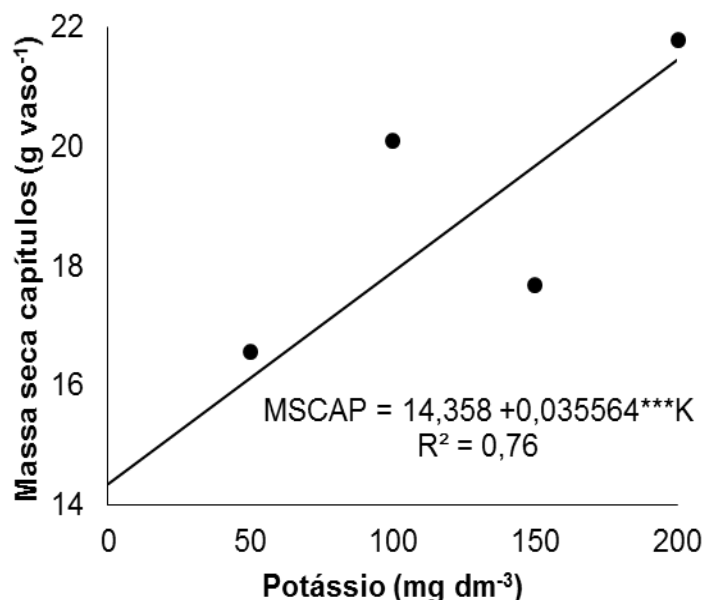


FIGURA 23. Massa seca de capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. MSCAP - Massa seca de capítulos; K - Potássio. *** Significativo a 0,1%.

Em estudo realizado por Abbadi et al. (2008), o incremento na fertilização potássica também promoveu maior massa seca de capítulos de plantas de cártamo, onde foi verificado que a dose de potássio de 90 mg dm⁻³ proporcionou um aumento de 61% na produção de capítulos quando comparado ao tratamento controle. Fanaei et al. (2009) relataram que o consumo de fertilizantes de potássio teve efeitos significativos sobre os componentes de produção de oleaginosas.

A deficiência de potássio ocasiona o funcionamento irregular dos estômatos, podendo diminuir a assimilação de CO₂, e a taxa fotossintética (CECÍLIO FILHO e GRANGEIRO, 2004), afetando negativamente a produção, como é observado no tratamento sem aplicação de potássio.

4.8 Massa seca de raízes

Verificou-se significância para massa seca de raízes apenas para as doses de potássio, sendo que os resultados foram descritos por modelo linear de regressão, apresentando maior produção de massa seca de raízes ($8,7 \text{ g vaso}^{-1}$) na maior dose do intervalo experimental (200 mg dm^{-3}) (Figura 24).

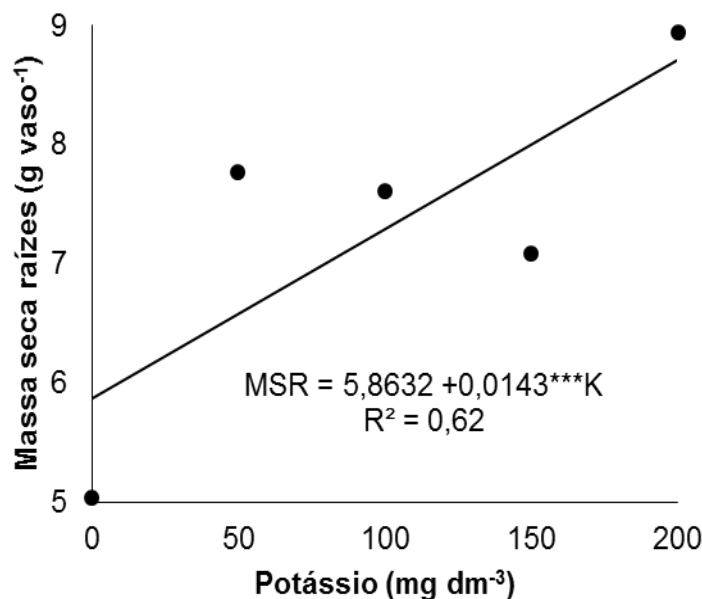


FIGURA 24. Massa seca de raízes de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. MSR - Massa seca de raízes; K - Potássio. *** Significativo a 0,1%.

Pode-se observar que na ausência da aplicação de potássio ao solo, a massa seca de raízes foi reduzida, indicando que o estado nutricional das plantas, com ênfase na adubação potássica, tem influência nas propriedades de crescimento de suas raízes (ESHEL e WAISEL, 1996). Um sistema radicular bem desenvolvido é necessário para a nutrição e sustentação das plantas e, como consequência, para boa produtividade de grãos e forragem.

Os efeitos positivos do potássio observados no presente estudo, tanto no crescimento da parte aérea como no sistema radicular, ocorre devido as funções desempenhadas por esse nutriente no metabolismo das plantas, como ativação enzimática e regulação osmótica (MALAVOLTA et al., 1997).

Hussien e Wuhaib (2010) estudando doses de potássio (0, 45, 90, 135 e 180 kg ha^{-1}) no crescimento do cártamo constataram que a maior dose do intervalo experimental foi responsável pela maior produção de massa seca de raiz.

4.9 Massa seca total

A massa seca total do cártamo foi influenciada significativamente pelas doses de nitrogênio e potássio, isoladamente, com ajuste dos resultados a modelo quadrático e linear de regressão, respectivamente (Figuras 25 e 26). A dose de nitrogênio de 102 mg dm⁻³ foi responsável pela máxima produção de massa seca total (60 g vaso⁻¹) (Figura 25).

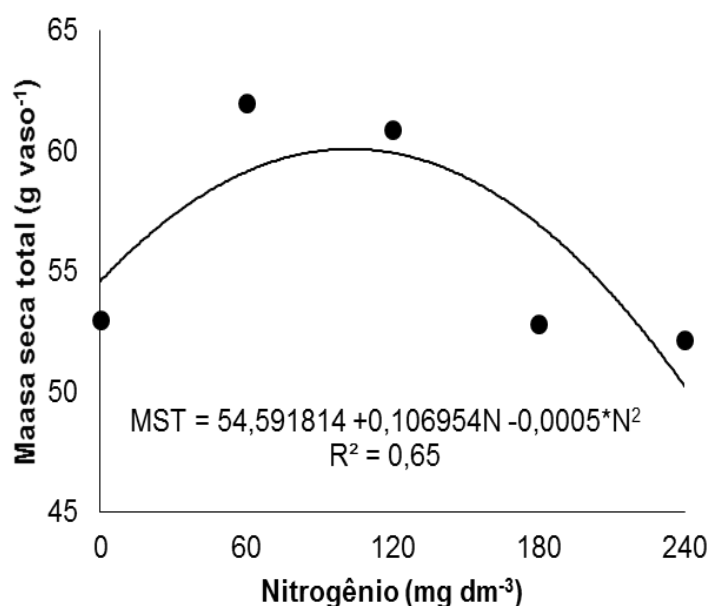


FIGURA 25. Massa seca total de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. MST - Massa seca total; N - Nitrogênio. * Significativo a 5%.

De maneira semelhante aos resultados verificados no presente estudo, Ebrahimian e Soleymani (2013) observaram efeito isolado das doses de nitrogênio (0, 150 e 200 kg ha⁻¹) para a massa seca total de plantas de cártamo, sendo que a dose intermediária (150 kg ha⁻¹) foi responsável pela máxima produção de massa seca total. Dordas e Sioulas (2009), também encontraram resposta significativa da massa seca total de plantas de cártamo em função da adubação nitrogenada, com a dose de 200 kg ha⁻¹ proporcionando a maior produção de massa seca.

O fornecimento de nitrogênio ao solo influenciou positivamente na massa seca total de plantas de cártamo, devido a esse nutriente ser constituinte de todos os aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucléicos, nucleotídeos, poliaminas, hormônios vegetais e vários outros tipos de entidades metabólicas (EPSTEIN, 2004), o que favorece o crescimento vegetativo das culturas.

Entretanto, nota-se que tanto na ausência de fornecimento da adubação nitrogenada, quanto na aplicação da maior dose, houve redução da massa seca total. Portanto, a aplicação da dose adequada de nitrogênio favoreceu a massa seca total das plantas, estando de acordo com trabalhos realizados por Vaguseviciene et al. (2012) e Aiyelaagbe et al. (2005).

Com relação à adubação potássica, a maior produção de massa seca total foi observada na maior dose de potássio empregada no experimento (200 mg dm^{-3}), mostrando um incremento de 35% quando comparado à ausência de potássio (Figura 26).

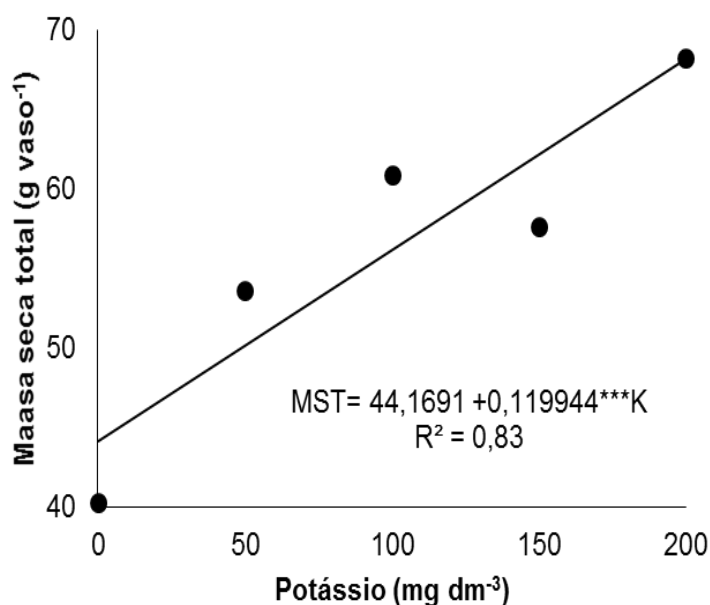


FIGURA 26. Massa seca total de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. MST - Massa seca total; K - Potássio. ***Significativo a 0,1%.

É possível perceber no presente estudo que o aumento da oferta de potássio para plantas de cártamo afeta positivamente a massa seca da parte aérea, dos capítulos e das raízes, resultando em aumento da massa seca total.

Em pesquisa com a cultura do cártamo, Abbadi et al. (2008) relataram que a máxima massa seca total foi obtida na dose de potássio de 90 mg dm^{-3} . Khan et al. (2004) verificaram que a adubação potássica tem influência positiva sobre a produção de massa seca de colza, uma oleaginosa, assim como o cártamo.

4.10 Consumo de água

Nas duas avaliações, verificou-se significância de maneira isolada das doses de potássio, ajustando-se a modelo linear de regressão. Portanto, a aplicação da maior dose do intervalo experimental resultou no maior consumo de água pelas plantas de cártamo (Figura 27).

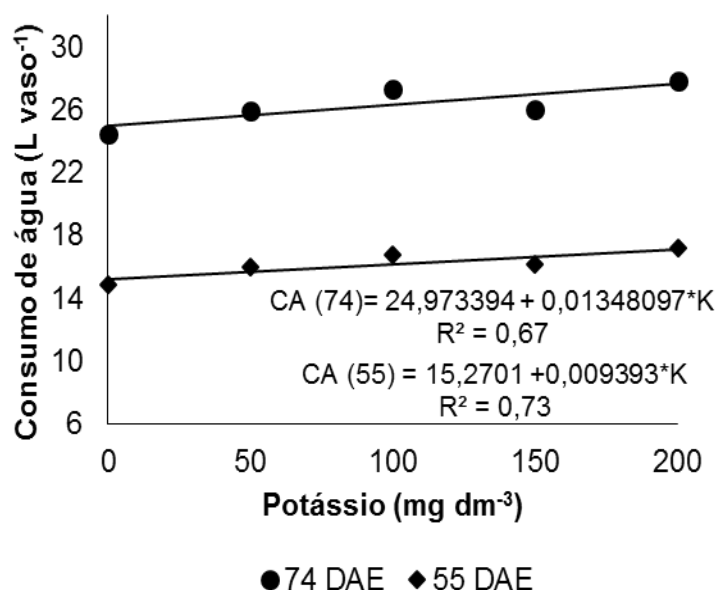


FIGURA 27. Consumo de água das plantas de cártamo aos 55 e 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. CA - Consumo de água; K - Potássio. * Significativo a 5%.

Destaca-se que o consumo de água pelo cártamo em função das doses de potássio apresentou resposta semelhante à produção de massa seca da parte aérea, sendo que ambas as variáveis obtiveram valores máximos na última dose do intervalo experimental (200 mg dm⁻³). Isso ocorreu, provavelmente, devido ao aumento da evapotranspiração da cultura nos tratamentos com maior massa seca, pois de acordo com Oliveira et al. (2003) existe uma relação positiva entre a produção de massa seca e a evapotranspiração da cultura.

4.11 Eficiência no uso da água

A eficiência no uso de água pelas plantas de cártamo mostrou significância para as doses de nitrogênio e potássio, onde os resultados foram representados por modelos quadrático e linear de regressão, respectivamente. Para a adubação

nitrogenada, a máxima eficiência no uso da água ($2,23 \text{ g L}^{-1}$) foi obtida na dose de nitrogênio de 82 mg dm^{-3} (Figura 28).

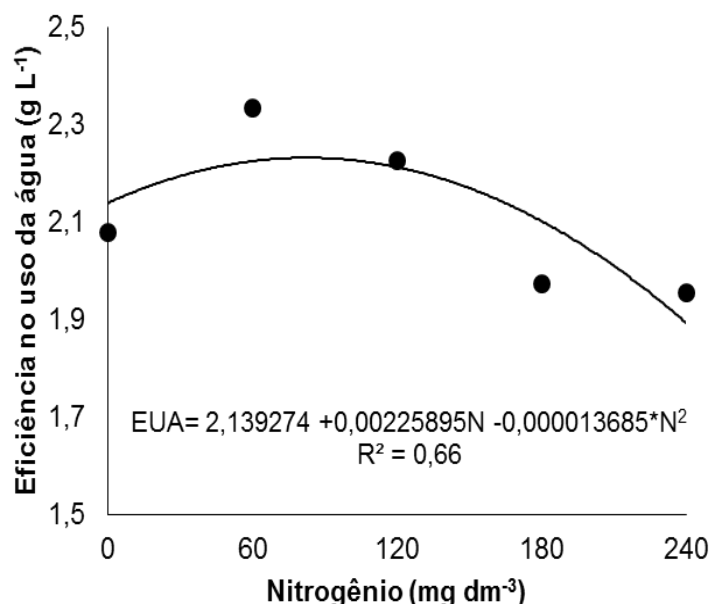


FIGURA 28. Eficiência de plantas de cártamo no uso da água aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. EUA – Eficiência no uso de água; N - Nitrogênio. * Significativo a 5%.

As plantas submetidas à adubação nitrogenada apresentaram alta capacidade em converter o volume de água consumido em produção de massa seca ($2,23 \text{ g L}^{-1}$), estando dentro da faixa adequada encontrada por Artur et al. (2014) para o capim-marandu. A água é importante para a formação e transporte de todas as substâncias solúveis, fotossintatos e carboidratos da fonte para a transformação em massa seca (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Os resultados do presente estudo estão de acordo com Iqbal et al. (2011) que verificaram que a maior área foliar decorrente do suprimento adequado de nitrogênio teve influência importante na eficiência do uso da água, reduzindo a evaporação do solo e aumentando o acúmulo de massa seca devido a maior interceptação de radiação solar ocorrendo aumento da fotossíntese. Edwards et al. (2010) relataram que a relação entre nitrogênio e fotossíntese aumenta a eficiência do uso da água pela planta.

Estudos realizados por Dordas e Sioula (2008), mostraram que plantas de cártamo submetidas à adubação nitrogenada (200 kg ha^{-1}) obtiveram um aumento de

60% na eficiência do uso da água quando comparado ao tratamento controle (ausência de nitrogênio).

De Bona e Monteiro (2008) verificaram que o nitrogênio é imprescindível para o capim-marandu ser mais eficiente no uso da água. Outras pesquisas também têm mostrado maior eficiência no uso da água com o incremento no suprimento de nitrogênio, com consequente aumento na produção de gramíneas (BONFIM-SILVA et al., 2007; ARTUR et al., 2014; FREIRE, 1991).

A eficiência no uso da água aumentou em função das doses de potássio, segundo modelo linear de regressão, portanto, a máxima eficiência ($2,47 \text{ g L}^{-1}$) foi verificada na dose de potássio de 200 mg dm^{-3} (Figura 29).

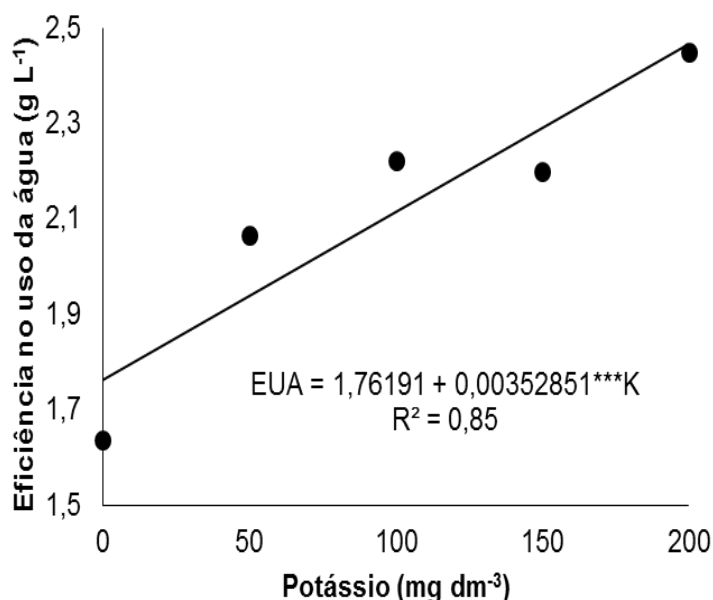


FIGURA 29. Eficiência de plantas de cârtamo no uso da água aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. EUA – Eficiência no uso de água; K- Potássio. ***Significativo a 0,1%.

Com esses resultados, é possível observar que o aumento das doses de potássio proporcionou ao cârtamo melhor aproveitamento da água disponível no solo para produzir maior quantidade de massa seca.

A eficiência do uso da água está relacionada com a fotossíntese e o fechamento dos estômatos (EDWARDS et al., 2010) para reduzir as taxas de transpiração associada a uma maior área foliar por unidade de massa seca da planta (IGBAL et al., 2011).

Nesse contexto, destaca-se a importância do potássio na eficiência do uso da água, pois uma das funções mais importantes desse nutriente é o controle da abertura e fechamento dos estômatos, promovendo a mínima perda de água possível durante a absorção de CO₂ para realização da fotossíntese (PIMENTEL, 2004). Portanto, o fornecimento de potássio ao solo resulta em melhor qualidade da planta devido ao aumento da eficiência da fotossíntese e à ótima eficiência no uso da água (VIANA, 2007).

4.12 Índice de clorofila

Para o índice de clorofila, observou-se efeito significativo apenas para as doses de nitrogênio aplicadas ao solo. Na primeira avaliação, os resultados foram descritos por modelo de regressão polinomial, sendo que o maior índice de clorofila (60,5) foi constatado na dose de nitrogênio de 168 mg dm⁻³. Aos 74 DAE, o índice de clorofila foi incrementado pelo suprimento das doses de nitrogênio, ajustando-se à modelo linear de regressão, apresentando maior valor (56,5) na maior dose do intervalo experimental estudado (240 mg dm⁻³) (Figura 30).

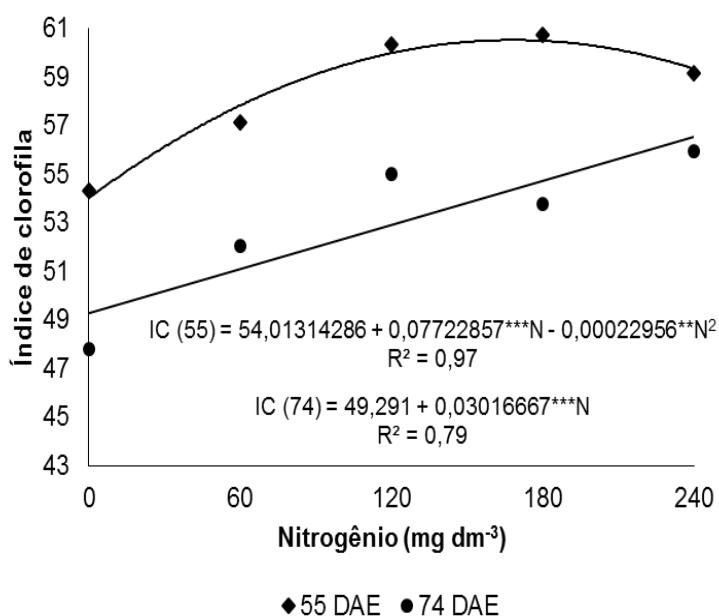


FIGURA 30. Índice de clorofila (Leitura SPAD) aos 55 e 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. IC – Índice de clorofila; N – Nitrogênio. *** e ** Significativo a 0,1 e 1%, respectivamente.

O aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo e consequente absorção desse nutriente pela planta, proporcionou maiores valores de índice de clorofila

mediante a participação do nitrogênio na constituição da molécula de clorofila (TAIZ e ZEIGER, 2004).

O suprimento adequado de nitrogênio promove aumento da fotossíntese e o crescimento das plantas em diversas culturas devido esse nutriente ser componente do aparelho fotossintético. Dordas e Sioulas (2008) observaram que maiores taxas de fotossíntese foram acompanhadas por um aumento no conteúdo de clorofila de plantas de cártamo. Dessa forma, plantas com maior índice de clorofila apresentam maior capacidade de adquirir fotoassimilados, o que reflete em seu rendimento.

A influência do nitrogênio no índice de clorofila foi observada por Dordas e Sioulas (2008), que verificaram efeito significativo no índice de clorofila de plantas de cártamo no florescimento em função da adubação nitrogenada, onde as duas doses estudadas 100 e 200 kg ha⁻¹, proporcionaram maior valor de índice de clorofila (66,3 e 66,7, respectivamente) quando comparado ao tratamento sem adubação nitrogenada (62,0).

Nota-se uma redução do índice de clorofila das folhas de plantas de cártamo da primeira para a segunda avaliação. Isso ocorreu pois na segunda avaliação a cultura encontrava-se no período final de florescimento, iniciando o enchimento de grãos, portanto, parte do nitrogênio existente na parte aérea na primeira avaliação foi translocado para a estrutura reprodutiva, os capítulos.

No tratamento com ausência de adubação nitrogenada, a translocação da pouca quantidade de nitrogênio das folhas para os capítulos induziu a senescência foliar precoce, diminuindo a quantidade de clorofila neste compartimento da planta (SHUKLA et al., 2004). Isto indica claramente que, quando há disponibilidade de nitrogênio adequada ao solo, a senescência foliar é mais lenta, o que proporciona o fornecimento de fotoassimilados para a semente por mais tempo, resultando em rendimentos mais elevados (EGHBALL e POWER, 1999), verificado por meio do incremento de massa seca de capítulos em função do fornecimento adequado da adubação nitrogenada que foi obtido nesse estudo.

4.13 Concentração e acúmulo de nitrogênio na parte aérea

A concentração e acúmulo de nitrogênio na parte aérea foi significativa para as doses de nitrogênio e para as doses de potássio, isoladamente (Figuras 31 e 32). A concentração de nitrogênio na parte aérea aumentou de forma linear com o incremento das doses de nitrogênio, variando de 9,55 a 14,08 g kg⁻¹ (Figura 31A). No

entanto, os resultados de acúmulo de nitrogênio na parte aérea foram descritos por modelo quadrático de regressão com maior acúmulo (391 mg vaso^{-1}) encontrado na dose de nitrogênio de 169 mg dm^{-3} (Figura 31B).

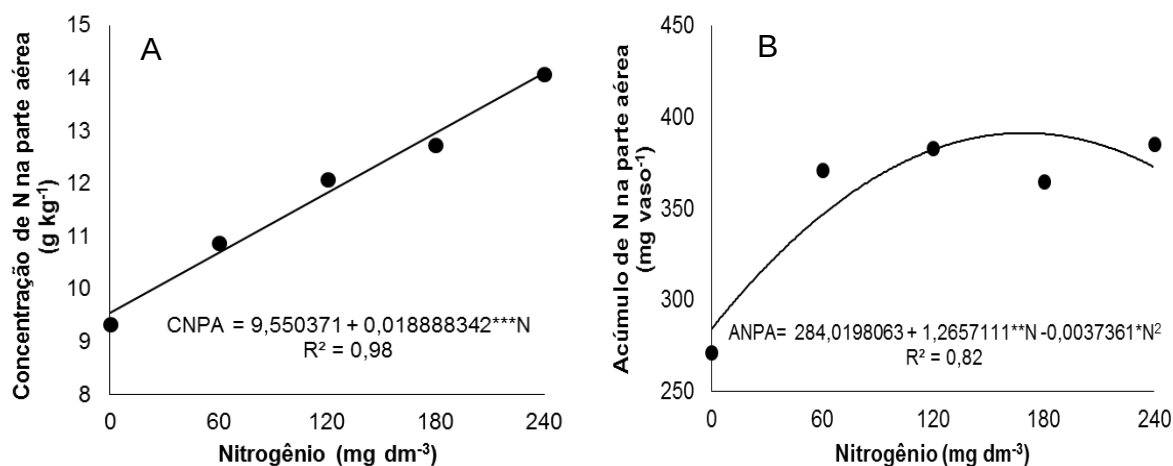


FIGURA 31. Concentração (A) e acúmulo (B) de nitrogênio na parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. CNPA – Concentração de nitrogênio na parte aérea; ANPA – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea; N - Nitrogênio. *** e * Significativo a 0,1 e 5%, respectivamente.

A concentração de nitrogênio na parte aérea de plantas de cártamo, em função da aplicação de nitrogênio, foi estudada por Dordas e Sioulas (2009), que verificaram variação de $9,43$ a $11,41 \text{ kg ton}^{-1}$, valores semelhantes aos encontrados no presente estudo, na concentração observada nas condições de não aplicação do nutriente e na dose de nitrogênio de 200 kg ha^{-1} , maior dose estudada por esses autores, na qual se obteve a máxima concentração.

Primi et al. (2010) avaliando plantas de cártamo submetidas à adubação nitrogenada, verificaram que a concentração de proteína bruta aumentou de 11 para 17% da massa seca, que corresponde, respectivamente, a uma concentração de nitrogênio de 1,76 e 2,72% da massa seca, quando comparado o tratamento com ausência de aplicação com a maior dose de nitrogênio do intervalo experimental, 105 kg ha^{-1} .

Rastgou et al. (2013), também concluíram que a adubação nitrogenada afeta significativamente a absorção de nitrogênio pelas plantas de cártamo. Para outras culturas, Mattos e Monteiro (2003) observaram incremento linear na concentração de

nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Braquiária até a dose de nitrogênio de 200 mg dm⁻³ (máxima dose do intervalo experimental).

A resposta quadrática do acúmulo de nitrogênio na parte aérea em função das doses de nitrogênio, ocorreu devido a menor produção de massa seca verificada nas maiores doses de nitrogênio do intervalo experimental, o que proporcionou redução no acúmulo de nitrogênio nas plantas de cártamo.

A variação da concentração de nitrogênio na massa seca da parte aérea em função das doses de potássio ajustou-se ao modelo quadrático de regressão (Figura 32A). A concentração de nitrogênio variou de 13,69 a 10,81 g kg⁻¹ com o aumento das doses de potássio. Por meio da equação de regressão, pode-se constatar que a concentração de nitrogênio decresceu a medida que foi elevando o fornecimento de potássio. A máxima concentração de nitrogênio na massa seca da parte aérea (13,69 g kg⁻¹) foi obtida quando não se aplicou potássio, enquanto a mais baixa concentração (10,81 g kg⁻¹) foi obtida com a dose de potássio de 130 mg dm⁻³.

Entretanto, o acúmulo de nitrogênio na parte aérea aumentou linearmente, variando de 304,1 a 406,3 mg vaso⁻¹, com o incremento do fornecimento de potássio ao solo (Figura 32B).

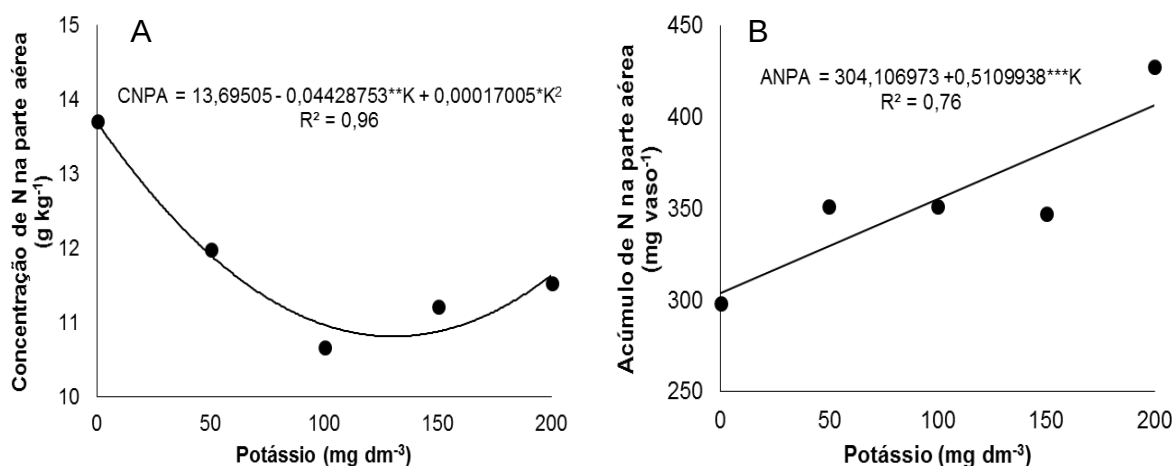


FIGURA 32. Concentração (A) e acúmulo (B) de nitrogênio na parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. CNPA – Concentração de nitrogênio na parte aérea; ANPA – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea; K - Potássio. ***, ** e * Significativo a 0,1, 1 e 5%, respectivamente.

A maior concentração de nitrogênio na parte aérea de plantas de cártamo encontrada na ausência de aplicação de potássio no solo ocorreu devido ao efeito da

concentração, resultante do menor crescimento das plantas provocado pela falta de potássio. Essa resposta também foi encontrada por Lavres Junior (2001) em capim-Mombaça e Viana (2007) em trigo, que verificaram máxima concentração de nitrogênio na ausência do fornecimento de potássio.

Por outro lado, ocorreu aumento do acúmulo de nitrogênio na parte aérea decorrente do incremento das doses de potássio devido a importância deste nutriente no aproveitamento do nitrogênio pelas plantas, pois o potássio é essencial no metabolismo e incorporação do nitrogênio no tecido foliar (XU et al., 2002). Keeney et al. (1967) verificaram que o potássio aumentou a absorção de nitrogênio pela cultura do milho, proporcionando aumento na concentração de proteína nos grãos devido ao maior fornecimento de nitrogênio.

4.14 Concentração e acúmulo de nitrogênio nos capítulos

Constatou-se efeito significativo das doses de nitrogênio na concentração e no acúmulo deste nutriente nos capítulos de plantas de cârtamo (Figura 33). Nota-se que a concentração de nitrogênio nos capítulos aumentou linearmente com o suprimento desse nutriente, variando de 27,4 a 33,4 g kg⁻¹ (Figura 33A). No entanto, o acúmulo de nitrogênio nos capítulos ajustou-se a modelo quadrático de regressão e a dose de nitrogênio de 154 mg dm⁻³ resultou em maior acúmulo (596 mg vaso⁻¹) desse nutriente (Figura 33B).

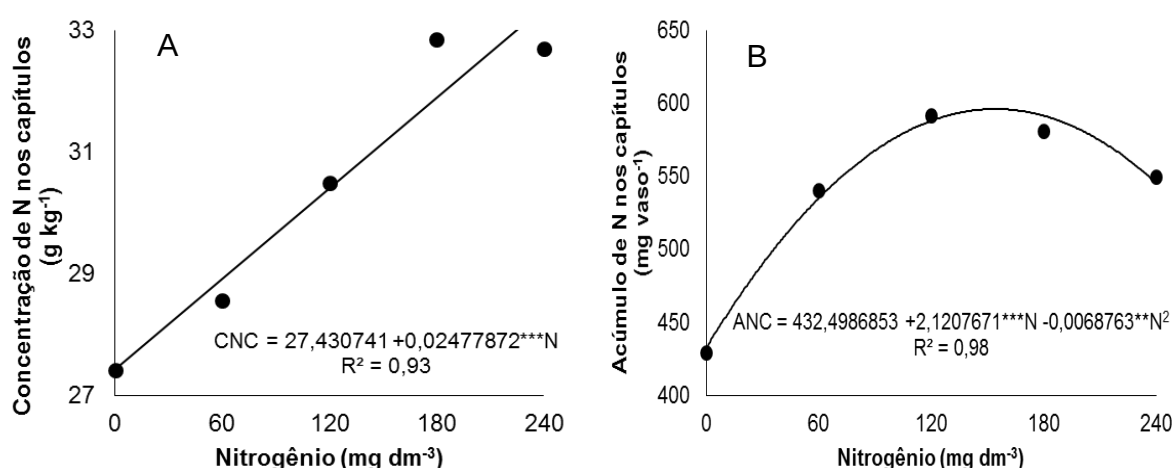


FIGURA 33. Concentração (A) e acúmulo (B) de nitrogênio nos capítulos de plantas de cârtamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. CNC – Concentração de nitrogênio nos capítulos; ANC – Acúmulo de nitrogênio nos capítulos; N - Nitrogênio. *** e ** Significativo a 0,1 e 1%, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Rastgou et al. (2013), que verificaram que a aplicação de adubação nitrogenada contribui para o aumento de concentração de nitrogênio na estrutura reprodutiva de plantas de cârtamo. Esses autores encontraram concentrações de nitrogênio de 3,08 a 4,03% da massa seca de sementes, valores estes obtidos, respectivamente, a partir da não aplicação e da dose de nitrogênio de 200 kg ha⁻¹ (maior dose do intervalo experimental).

Verifica-se no presente estudo, que os capítulos acumularam 60% do total absorvido pela massa seca da parte aérea + capítulos, indicando que houve elevada translocação desse nutriente para os capítulos. Gachon (1972), estudando a absorção de nutrientes, observou uma intensa translocação de nitrogênio, das folhas e caule para os capítulos e sobretudo para os aquênios de plantas de girassol, depois do estágio de floração.

A concentração de nitrogênio nos capítulos de plantas de cârtamo variou com as doses de potássio, conforme modelo linear de regressão (Figura 34A), decrescendo com o suprimento de potássio de 32,8 para 27,9 g kg⁻¹. Por outro lado, o acúmulo de nitrogênio nos capítulos obteve incremento (469,2 a 607,6 mg vaso⁻¹) à medida que se aumentou as doses de potássio (Figura 34B).

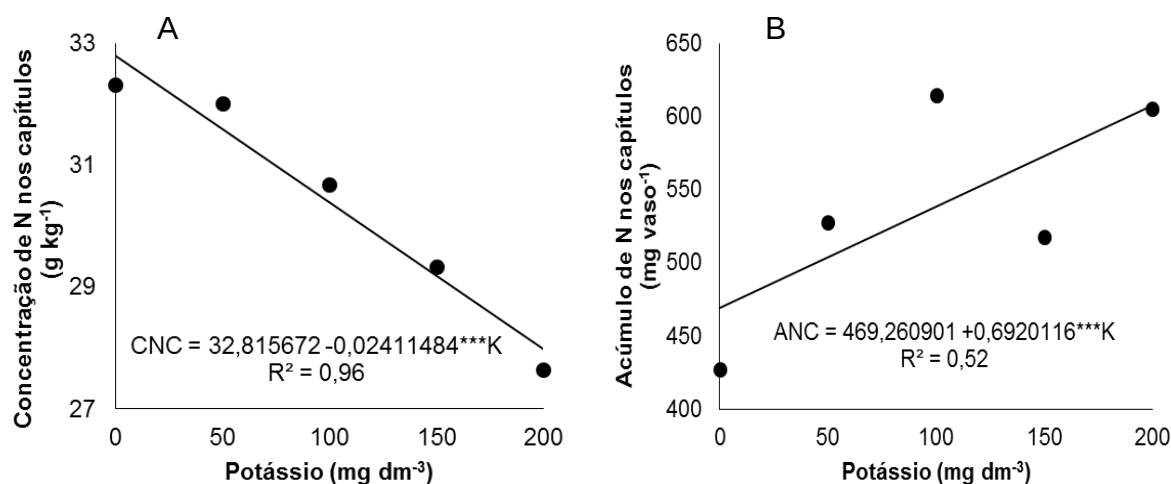


FIGURA 34. Concentração (A) e acúmulo (B) de nitrogênio nos capítulos de plantas de cârtamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. CNC – Concentração de nitrogênio nos capítulos; ANC – Acúmulo de nitrogênio nos capítulos; K - Potássio. *** Significativo a 0,1%.

O aumento das doses de potássio reduziu a concentração de nitrogênio, devido ao incremento linear na massa seca dos capítulos proporcionado pela adubação

potássica. Dessa forma, à medida que aumentou a massa reprodutiva, diminuiu a concentração de nitrogênio nesse compartimento da planta, devido ao efeito de diluição desse nutriente nos capítulos do cârtamo.

A maior concentração de nitrogênio verificada na ausência de aplicação de potássio não resultou em maior produção de capítulos, uma vez que a massa seca de capítulos respondeu de forma linear crescente às doses de potássio. Assim, não houve uma correlação positiva entre a concentração de nitrogênio e a produção de capítulos. Por outro lado, o aumento do acúmulo de nitrogênio com o incremento da adubação potássica, comprova a importância do potássio na incorporação do nitrogênio nas plantas de cârtamo.

4.15 Concentração e acúmulo de potássio na parte aérea

A adubação nitrogenada não influenciou a concentração de potássio na parte aérea das plantas de cârtamo. No entanto, houve significância das doses de nitrogênio para o acúmulo de potássio na parte aérea, ajustando a modelo quadrático de regressão, sendo que o acúmulo máximo foi de 763,9 mg vaso⁻¹, obtido na dose de nitrogênio de 90 mg dm⁻³ (Figura 35).

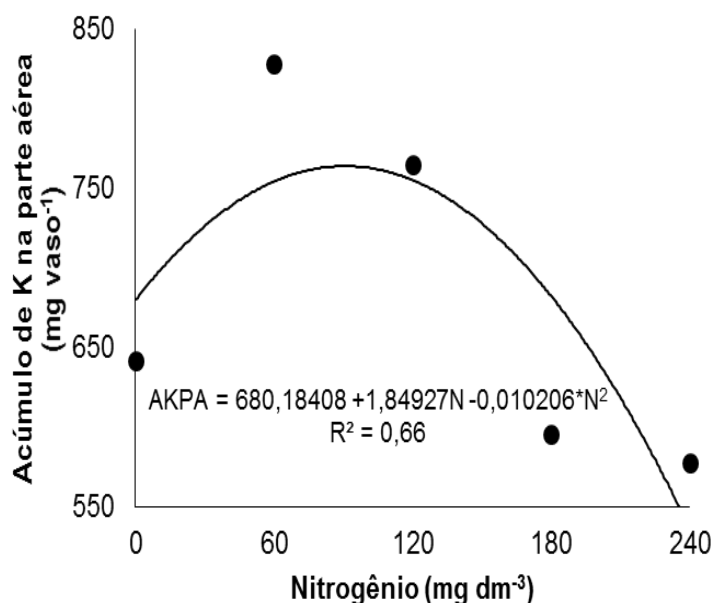


FIGURA 35. Acúmulo de potássio na parte aérea de plantas de cârtamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. AKPA – Acúmulo de potássio na parte aérea; N – Nitrogênio; * Significativo a 5%.

O maior acúmulo de potássio com o incremento da adubação nitrogenada ocorre devido ao aumento da massa seca da parte aérea promovido pelo nitrogênio, sendo que as doses desse nutriente de 90 e 95 mg dm⁻³, correspondem aos valores máximos de acúmulo de potássio e massa seca da parte aérea, respectivamente. Assim, o nitrogênio favoreceu o acúmulo de potássio na parte aérea das plantas de cártamo, corroborando com Singh et al. (2002) que relataram que as aplicações de nitrogênio aumentaram a absorção de potássio pelas culturas de arroz e trigo.

A concentração e o acúmulo de potássio na parte aérea de plantas de cártamo ajustaram-se a modelo de regressão de primeiro grau em função das doses de potássio (Figura 36A e B). Desse modo, a máxima concentração e acúmulo de potássio foram obtidos quando a maior dose do nutriente foi aplicada. A variação nessa concentração e acúmulo entre a condição em que não se aplicou potássio e a maior dose do nutriente esteve entre 5,18 e 17,6 g kg⁻¹; e 431 e 932 mg vaso⁻¹, respectivamente.

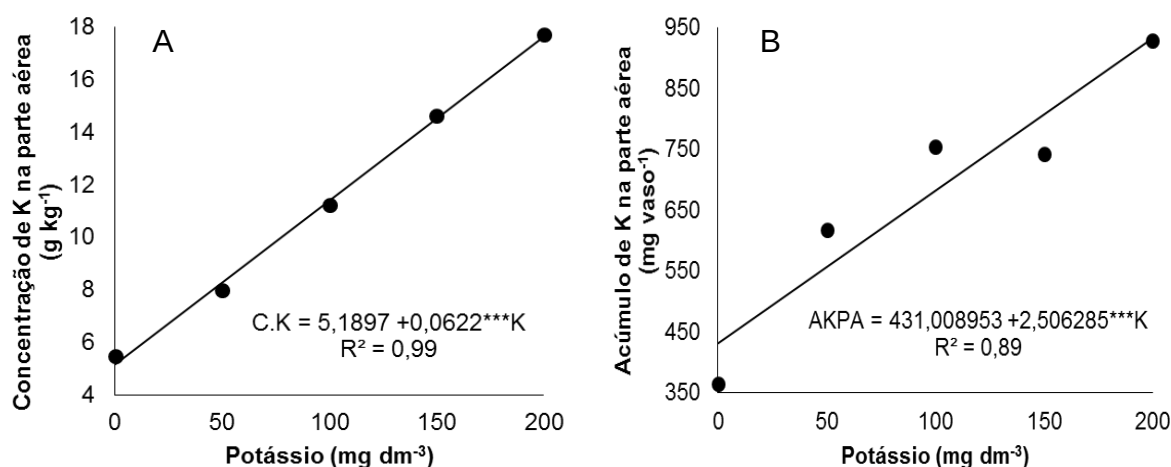


FIGURA 36. Concentração (A) e acúmulo (B) de potássio na parte aérea de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. CK – Concentração de potássio na parte aérea; AKPA – Acúmulo de potássio na parte aérea; K – Potássio; *** Significativo a 0,1%.

A máxima concentração de potássio na maior dose do intervalo experimental está de acordo com Mattos (1997) que conduziu experimento em casa de vegetação com solução nutritiva, avaliando a diagnose nutricional do capim-Marandu. O autor verificou que o incremento das doses de potássio na solução nutritiva proporcionou

aumento na concentração de potássio nos componentes da parte aérea, resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo.

4.16 Concentração e acúmulo de potássio nos capítulos

A adubação nitrogenada não influenciou a concentração de potássio nos capítulos das plantas de cártamo. Entretanto, verificou-se significância das doses de nitrogênio para o acúmulo de potássio nos capítulos, ajustando a modelo quadrático de regressão, sendo que o acúmulo máximo foi de 322,5 mg vaso⁻¹, obtido na dose de nitrogênio de 108 mg dm⁻³ (Figura 37).

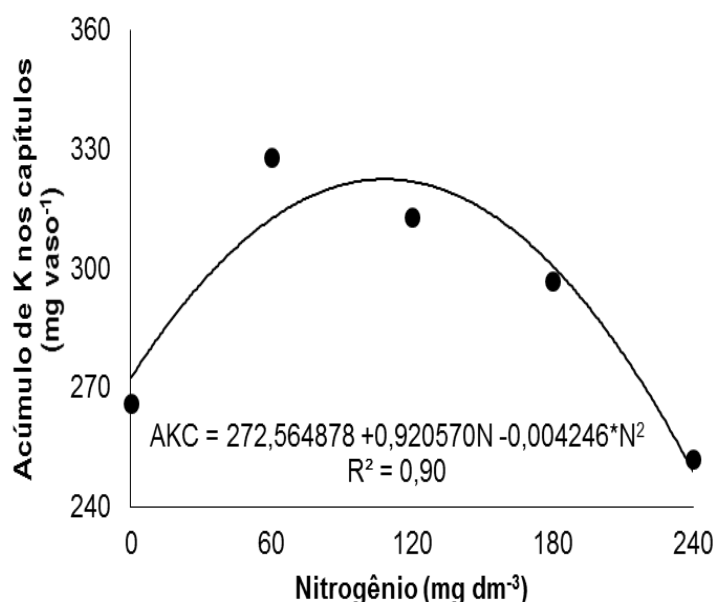


FIGURA 37. Acúmulo de potássio nos capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho. AKC – Acúmulo de potássio nos capítulos; N – Nitrogênio; * Significativo a 5%.

É possível perceber que o acúmulo de potássio nos capítulos foi influenciado positivamente pelas doses de nitrogênio, indicando a relação entre esses dois nutrientes, onde a absorção de um nutriente eleva a demanda pelo outro, ou seja, o suprimento de nitrogênio pode influir na absorção e distribuição do potássio no tecido vegetal (CANTARELLA, 2007). Além disso, o aumento da massa seca dos capítulos proporcionado pela adubação nitrogenada contribuiu para o máximo acúmulo de potássio por unidade experimental.

Para a adubação potássica, verificou-se respostas significativas da concentração e acúmulo de potássio nos capítulos de plantas de cártamo em função

das doses de potássio, com ajuste a modelo de regressão linear (Figuras 38A e B). Pode-se observar que na não aplicação de potássio, a concentração e acúmulo desse nutriente nos capítulos foi de 10,6 g kg⁻¹ e 145,5 mg vaso⁻¹, respectivamente, enquanto que a maior concentração e acúmulo foi de 21,1 g kg⁻¹ e 437,2 mg vaso⁻¹, respectivamente, observados na maior dose do intervalo experimental.

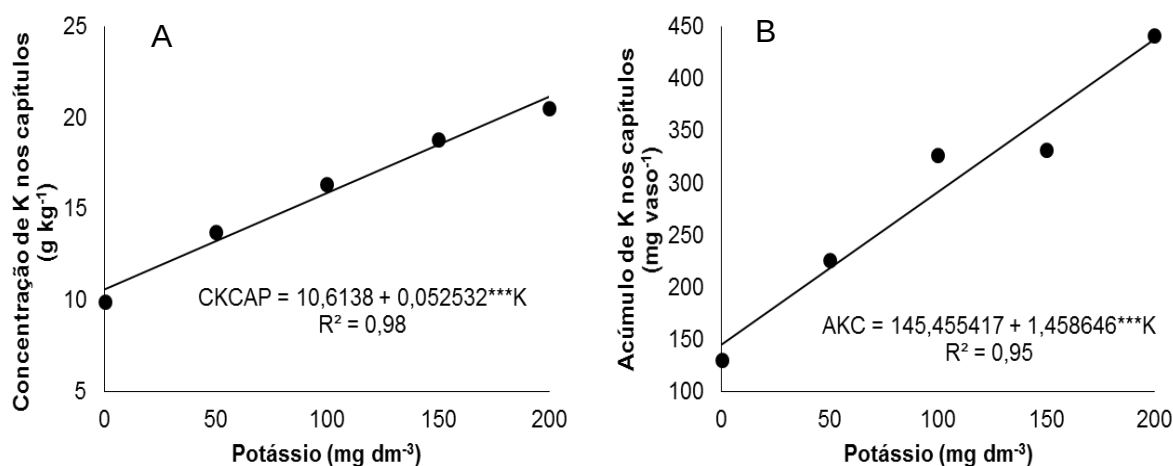


FIGURA 38. Concentração (A) e acúmulo (B) de potássio nos capítulos de plantas de cártamo aos 74 DAE, em função das doses de potássio em Latossolo Vermelho. CKCAP – Concentração de potássio nos capítulos; AKC – Acúmulo de potássio nos capítulos; K – Potássio; *** Significativo a 0,1%.

As concentrações de potássio no presente trabalho estão próximas daquelas encontradas por Gerendas et al. (2008), para o cártamo submetido a doses desse nutriente. Esses autores constataram ainda que o suprimento ótimo de adubo potássico equivale a dose de potássio de 268 mg dm⁻³, responsável pela maior concentração de potássio (20,6 mg g⁻¹) no cártamo. Grove e Sumner (1982) também observaram, para o girassol, que o aumento da oferta de potássio causou um aumento na concentração desse nutriente.

5 CONCLUSÕES

Não houve interação das combinações de doses de nitrogênio e potássio no cultivo do cártamo em Latossolo Vermelho, com efeito isolado para ambos os nutrientes.

A aplicação de nitrogênio e potássio influencia as características fitométricas, produtivas e nutricionais das plantas de cártamo.

Para a adubação nitrogenada, o intervalo adequado de doses de nitrogênio necessário para maximizar as características fitométricas é de 97 a 137 mg dm⁻³; produtivas: 95 a 124 mg dm⁻³ e nutricionais: 90 a 240 mg dm⁻³; e eficiência no uso da água: 82 mg dm⁻³.

O intervalo de adubação potássica estudado, com maior dose de 200 mg dm⁻³, não foi suficiente para proporcionar a máxima resposta da cultura do cártamo.

As concentrações de nitrogênio e potássio na parte aérea e nos capítulos atingem máximos valores quando maiores doses desses nutrientes são aplicadas ao solo.

O acúmulo de nitrogênio e potássio na parte aérea e nos capítulos respondem de forma semelhante à massa seca no que se refere a aplicação desses nutrientes no solo.

O potássio promove incremento no acúmulo de nitrogênio no tecido vegetal, demonstrando a necessidade do equilíbrio entre esses dois nutrientes na adubação da cultura do cartamo.

O fornecimento de doses de nitrogênio e potássio contribui de forma positiva na produção de massa seca, melhorando a eficiência no uso da água.

REFERÊNCIAS

- ABBADI, J.; GERENDAS, J.; SATTELMACHER, B. Effects of potassium supply on growth and yield of safflower as compared to sunflower. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Tharandt, v. 171, p.272-280, 2008.
- ABBASIEH, S.K.; SHIRANI RAD, A.H.; DELKHOSH, B.; MOHAMADI, G.N. Effect of different potassium levels and different humidity conditions, in the use of zeolite and disuse zeolite in safflower. **Annals of Biological Research**, Coden, v.8, n.4, p.56-60, 2013.
- AIYELAAGBE I.O.O.; FAGBAYIDE J.A.; MAKINDE A.I.; Effects of N fertilization on the vegetative growth of passion fruit (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) seedlings. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsink, v.3, p. 62-64, 2005.
- AL-DOORI S. A. M. Performance of Some Safflower Genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) According to Varying Row Spacing and Nitrogen Fertilizer Levels. **Journal of Tikrit University For Agriculture Sciences**, Tikrit, v. 13, n. 3, p.15-20, 2013.
- ARANTES, A. M. **Cártamo (*Carthamus tinctorium* L.) produção de biomassa, grãos, óleo e avaliação nutritiva da silagem**. 34f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Zootecnia, Nova Odessa -SP, 2011.
- ARTUR, A.G.; GARCEZ, T.B.; MONTEIRO, F.A. Water use efficiency of marandu palisadegrass as affected by nitrogen and sulphur rates. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 10-17, 2014.
- BAGHERI, B. e SAM-DAILIRI, M. Effect of water estress on agronomic traits of safflower spring (*Carthamus Tinctorius*). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Jordan, v.5, n.12, p. 2621-2624, 2011.
- BERGLUND, D.R.; RIVELAND, N.R.; BERGMAN, J.W.; KANDEL, H. **Safflower production**. Circular A 870. Fargo, N.D: NDSU Extension Service, North Dakota, 2013.
- BISCARO G. A.; MACHADO, J. R.; TOSTA, M. da S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R. P.; CARVALHO, L. A. de. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v.32, n.5, p.1366-1373, 2008.
- BITARAFAN, Z.; RAD, A.H.S.; DELKHOSH, B. Changes in yield and morphologic traits of spring safflower as affected by nitrogen rates and sowing dates. **Advances in Environmental Biology**, Jordan, v.6, n.1, p.72-78, 2012.
- BONFIM-SILVA, E.M.; MONTEIRO, F.A.; SILVA, T.J.A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v.31, p.309-317, 2007.
- CAMAS, N., C. CIRAK, E. ESENDAL. Seed yield, oil content and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown in Northern Turkey

conditions. **Journal Faculty Agriculture Ondokuz Mayis University**, Samsun, v. 22, p. 98-104, 2007.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470

CASTRO, C., BALLA, A., CASTIGLIONI, V. B. R. SFREDO, G.J. Levels and methods of nitrogen supply for sunflower. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.827-833, 1999.

CECÍLIO FILHO, A.B.; GRANGEIRO, L.C. Produtividade da cultura da melancia em função de fontes e doses de potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v. 28, n. 3, p. 561-569, 2004.

COELHO, R.I.; CARVALHO, A.J.C. de.; MARINHO, C.S.; LOPES, J.C.; PESSANHA, P.G.O. Resposta à adubação com uréia, cloreto de potássio e ácido bórico em mudas do abacaxizeiro 'Smooth Cayenne'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 1, p. 161-165, 2007.

CORLETO, A., ALBA, E.; POLIGNANO, G.B.; VONGHIO, G. **Safflower: A multipurpose species with unexploited potential and world adaptability**. Proceedings of the 4th International Safflower Conference, June 2-7, 1997, Bari, Italy, pp: 23-31.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA FILHO, L. F. DA S.; QUEIROZ, D. C. Níveis de nitrogênio e a taxa fotossintética do mamoeiro "Golden". **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.64-71, 2007.

DE BONA, F. D. e MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na eficiência do uso da água pelo capim-Marandu em estabelecimento. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 32, p. 17-22, 2008.

DORDAS, C.A e SIOULAS, C. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 27, p. 75-85, 2008.

DORDAS, C.A., LITHOURGIDIS, A.S., MATSI, TH., BARBAYIANNIS, N. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v.80, p.283–296, 2008.

DORDAS, C.A. e SIOULAS C. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.110, p.35–43, 2009.

EBRAHIMIAN, A. e SOLEYMANI, A. Growth length and dry matter yield in different stages of safflower as affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, London, v. 4, n. 5, p.963-969, 2013.

EDWARDS E.J.; OSBORNE, C.P.; STRÖMBERG, C.A.E.; SMITH, S.A.; BOND, W.J. The origins of C4 grasslands: integrating evolutionary and ecosystem science. **Science**, Washington, v.328, n. 5978, p. 587-591, 2010.

EGHBALL, B. e POWER, J.F. Composted and noncomposted manure application to conventional and no-tillage systems corn yield and nitrogen uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 91, p.819–825, 1999.

EL-MOHSEN, A.A. e MAHMOUD, G.O.; Modeling the Influence of Nitrogen Rate and Plant Density on Seed Yield, Yield Components and Seed Quality of Safflower. **American Journal of Experimental Agriculture**, v.3, n.2, p. 336-360, 2013.

EL-NAKHLAWY, F.S. Response of safflower to different levels of nitrogen, phosphorus and potassium. **Acta Agronomica Hungarica**, Budapest, v. 40, n.1-2, p. 87-92, 1991.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2013. 353 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Ed. Plantas, 2004. 403 p.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. e SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. e NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

ESHEL, A.; WAISEL, Y. Multiform and multifunction of various constituents of one root system. In: WAISEL, Y., ESHTEL, A. & KAFKAFI., U., ed. **Plant roots: The hidden half**. 2. ed. New York, Marcel Dekker, 1996. p.175-192.

FAGUNDES, J.D.; SANTIAGO, G.; MELLO, A.M.; BELLÉ, R.A.; STRECK, N.A. Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso (*Helianthus annuus* L.): fontes e doses de nitrogênio. **Ciência rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p. 987-993, 2007.

FANAEI H.R.; GALAVI M.; KAFI M.; GHANBARIBONJAR A. Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. **International Journal of Plant Production**, Gorgan, v.3, n.2, p.41-54, 2009.

FAOSTAT 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>> Acesso em: 24 de agosto de 2014.

FARQUHAR, G. D. e SHARKEY, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.33, p.317-345, 1982.

FERRARI NETO, J. **Limitações nutricionais para o colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) em Latossolo da Região Noroeste do Estado do Paraná.** 1991. 126p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

FREIRE, F.J. **Efeito do estresse hídrico e da adubação nitrogenada em parâmetros de crescimento de milho (*Zea mays* L.), teor de nitrogênio e eficiência no uso de água.** 1991. 156 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1991.

GACHON, L. La cinétique de l'absorption des éléments nutritifs majeurs chez le tournesol. **Annales Agronomiques**, v. 23, n.5, p. 547-36, 1972.

GERENDÁS, J.; ABBADI, J.; SATTELMACHER, B. Potassium efficiency of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Tharandt, v.171, p.431–439, 2008.

GIAYETTO, O; FERNANDEZ, E.M; ASNAL, W.E; CERRIONI, G.A; CHOLARKI, L. Comportamento de cultivares de Cartamo (*Carthamuns tinctorius* L.) en la region de Rio Cuarto, Cordoba (Argentina). **Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales**, Madrid, v. 14, n 1-2, p 203-215, 1999.

GILBERT, N.W. e TUCKER, T.C. Growth, yield, and yield components of safflower as affected by source, rate and time of application of nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v.59, p.54–55, 1967.

GOLZARFAR, M., SHIRANI RAD, A. H., DELKHOSH, B., BITARAFAN, Z. Changes of safflower morphologic traits in response to nitrogen rates, phosphorus rates and planting season. **International Journal of Science and Advanced**, v.1, n.10, p. 84-89, 2011.

GOLZARFAR, M., SHIRANI RAD, A. H., DELKHOSH, B., BITARAFAN, Z. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) response to different nitrogen and phosphorus fertilizer rates in two planting seasons. **Zemdirbyste = Agriculture**, Akademija, v. 99, n.2, p. 159-166, 2012.

GRACIA, A. B.; MÁRQUEZ, J.P.; CAMARENA, M.G.G.; ESPINOZA, X.M.O. CORONADO, L.M.; CERVANTES, J.M. **Guía para producir cártamo em Sinaloa.** Fundación Produce Sinaloa, A.C. Sagarpa, Gobierno del Estado de Sinaloa, 2010.

GROVE, J.H. e SUMNER, M.E. Yield and leaf composition of sunflower in relation to N, P, K, and lime treatment. **Fertilizer Research**, v. 3, p.367–378, 1982.

HSIAO, T. C. e XU, L. K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.51, p. 1595- 1616, 2000.

HUSSIEN, L.A. e WUHAIB, K.M. The relationship between root growth and yield in safflower influenced by irrigation interval and potassium levels. **The Iraqi Journal of Agricultural Sciences**, v. 41, n.3, p. 30-45, 2010.

IGBAL, N.; NAZAR, R.; SYEED, S.; MASOOD, A.; KHAN, N.A. Exogenously-sourced ethylene increases stomatal conductance, photosynthesis, and growth under optimal and deficient nitrogen fertilization in mustard. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 62, n.14, p. 4955-4963, 2011.

JESUS, F.N.; ALVES, A.C.; SANTOS, A.R.; SOUZA, G.S.; CERQUEIRA, T.T. Mudanças de girassol submetidas a doses de potássio. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; p. 1554-1565, 2013.

JONES, J.P. e TUCKER, T.C. Effect of nitrogen fertilizer on yield nitrogen content and yield components of safflower. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, p.363-364, 1968.

KAFFKA, S.R. e KEARNEY, T.E., **Safflower Production in California**. Oakland, California: University of California Agriculture and Natural Resources Publications, 1998. 29p.

KEENEY, D.R.; BAUMGARDT, B.R.; STANGEL, P.J.; LIEBHARDT, W.C.; BEESTMAN, G.B.; PETERSON, A.R. Effects of soil fertility on the quality of crops grown for silage. **Research Report**, Madison, v. 29, p. 1-11, 1967.

KHAN, H.Z.; ASGHAR, M.M.; FARRUKH, S.M.; IMRAN, A. Effect of different potassium fertilization levels on growth, seed yield and oil contents of canola (*Brassica napus* L.) **International Journal of Agriculture and Biology**, Beijing, v. 6, p.557-559, 2004.

KIZIL, S.; ÇAKMAK O.; KIRICI S.; e İNAN M. A comprehensive study on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in semi-arid conditions. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, Sofia, v.22, n.4, p. 947-953, 2008.

KOUTROUBAS, S.D.; PAPACOSTA, D.K.; DOITSINIS, A. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.90, p.263-274, 2004.

LAVRES JUNIOR, J. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim-Mombaça**. 2001. 103 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

LEILAH, A.A., SHARIEF, A.E. EL-SAYED, E.M. Effect of plant density and nitrogen fertilization of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) productivity. Proceedings of the International Conferences of Animal Production, September 13-15, 1992, Zagazig University, Egypt, pp: 871-879.

LOVELLI, S., M. PERNIOLA, A. FERRARA, T.D. TOMMASO. Yield response factor to water (ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. **Agricultural Water Management**, v. 92, p. 73-80, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A.O. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed., Piracicaba: Potafós, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. San Diego: Academic Press. 889p. 1995.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 647p.

MATTOS, W.T. **Diagnose nutricional de potássio em duas espécies de braquiárias**. Piracicaba, 1997. 74p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

MATTOS, W.T. e MONTEIRO, F.A. Produção e nutrição de capim-braquiária em função de doses de nitrogênio e enxofre. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.60, p.1-10, 2003.

MEGDA, M.M. e MONTEIRO, F.A. Nitrogen and potassium supply and the morphogenic and productive characteristics of marandu palisadegrass. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa – MG, v.39, n.8, p.1666-1675, 2010.

MONTEIRO, F.A.; LIMA, S.A.A.; WERNER, J.C.; MATTOS, H.B. Adubação potássica em leguminosas e em capim-Colônia (*Panicum maximum* Jacq.) adubado com níveis de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 37, p. 127-148, 1980.

MOVAHHEDY-DEHNAVY, M., MODARRES-SANAVY, S.A.M.; MOKHTASSI-BIGGOLI, A. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. **Industrial Crops and Products**, v. 30, p. 82–92, 2009.

MUNDEL, H.H.; BLACKSHOW, R.E.; BYERS, J.R.; HUANG, H.C.; JOHNSON, D.L.; KEON, R. **Safflower production on the Canadian Prairies**. Lethbridge, Canada: Agriculture and Agri-Food Canada. 2004, 36p.

OELKE, E.A.; OPLINGER, E.S., TEYNOR, T.M., PUTNAM, D.H., BONECA, J.D.; KELLING, K.A., DURGAN, B.R., NOETZEL, D.M. **Safflower**. Alternative Field Crops Manual, 8p, 1992. Disponível em: <<https://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/safflower.html>>. Acessado em: 24 de agosto de 2014.

OLIVEIRA, W.S.; OLIVEIRA, P.P.A.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.O.; TSAI, S.M. Disponibilidade hídrica relacionada ao conteúdo de nitrogênio e à produtividade da

alfafa (*Medicago sativa* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa - MG, v. 32, p. 1275-1286, 2003.

OMIDI, A.H.; KHAZAEI, H.; MONNEVEUX, P.; STODDARD, F. Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Turkish Journal of Field Crops**, Konak-Izmir, v. 17, n.1, p. 10-15, 2012.

PALIZDAR M.; DELKHOSH B.; SHIRANI RAD A. H. Effect of irrigation regimes on agronomic traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under different levels of K fertilization. **Plant Ecophysiology**, Jiroft Branch, v.3. n.1, p.15-21, 2011.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR 2004. 192p

PRETTY, K.M. O potássio e a qualidade da produção agrícola. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 1982. p.177-194.

PRIMI, R.; DANIELI, P.P.; RUGGERI, R.; PUGLIA, S.D.; ROSSINI, F.; RONCHI, B. Nutritional composition of spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L. var. inermis Schweinf.) grown at different levels of nitrogen fertilization. In: 61th ANNUAL MEETING OF THE EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION (EAAP) - Heraklion, Crete Island, Greece, 2010.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.

RASTGOU, B.; EBADI, A.; VAFAIE, A. MOGHADAM, S.H. The effects of nitrogen fertilizer on nutrient uptake, physiological traits and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **International journal of Agronomy and Plant Production**, London, v. 4, n. 3, p. 355-364, 2013.

SAMENI, A.M.; MAFTOUN, M.; HOJJATTI, S.M.; SHEIBANY, B. Effect of fertilizer-N and herbicides on the growth and N content of sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 285-288, 1976.

SAS Institute. **SAS: user's guide: statistics**. 9th Ed. Cary, 2002, 943p.

SEADH, S.E., ATTIA, A.N.E.; BADAWI, M.A.; EL-HETY, S.M.S. Response of seed yield and its components of safflower to sowing dates, nitrogen fertilizer levels and times of foliar application with Milagrow. **Journal of Biological Sciences**, Bethesda, v.1, p. 1-7, 2012.

SHUKLA, A.K., LADHA, J.K., SINGH, V.K., DWIVEDI, B.S., BALASUBRAMANIAN, V, GUPTA, R.K., SHARMA, S.K., SINGH, Y., PATHAK, H., PANDEY, P.S., PADRE, T.A., YADAV, R.L. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a systems perspective. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p.1606–1621, 2004.

SIDDIQUI, M.H. e OAD, F.C. Nitrogen Requirement of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) for Growth and Yield Traits. **Asian Journal of Plant Sciences**, Coden, v.5, p.563-565, 2006.

SILVA, C.J. **Caracterização Agronômica e divergência genética de acessos de cártamo**. 51f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013.

SILVA, T.S.; DANTAS, M.S.M.; ROLIM, M.M.; DANTAS, D.C.; FÉLIX, M.V.B.; COSTA, A.R.F.; LIMA, R.P. Avaliação das variáveis fisiológicas do girassol sob diferentes doses de manureira. In: XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2013, Recife. **Anais...** Recife: JEPEX, 2013.

SINGH, R. **Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to nitrogen, potassium and sulphur fertilization**. 1998. 92 p. Thesis (Doctor of philosophy in agronomy. Chaudhary Charan Singh University, Meerut, 1998.

SINGH, M.; SINGH, V.P.; REDDY, D.D. Potassium balance and release kinetics under continuous rice-wheat cropping system in Vertisol. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 77, p. 81-91, 2002.

SINGH, V e NIMBKAR, N: Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), In: SINGH, R, J: **Genetic Resources Chromosome Engineering, and Crop Improvement: Oil Crops**, Boca Raton, p.168-194, 2007.

STEER, B.T. e HARRIGAN, E.K.S. Rates of nitrogen supply during different developmental stages affect yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v.14, p.221–231, 1986.

STRASIL, Z. e VORLICEK, Z. The effect of nitrogen fertilization, sowing rates and site on yields and yield components of selected varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.), **Rostlinna Vyroba**, Slezská, v.48, p. 307–311, 2002.

STROMBERGER, J.A.; TSAI, C.Y.; HUBER, D.M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.17, p.19-37, 1994.

SUGIHARTO, B., MIYATA, K., NAKAMOTO, H., SASAKAWA, H., SUGIYAMA, T. Regulation of expression of carbon-assimilating enzymes by nitrogen in maize leaf. **Plant Physiology**, Waterbury, v.92, p.963–969, 1990.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. Tradução de Durval Dourado Neto e Manuella Nóbrega Dourado. 6 ed. São Paulo: Organização Andrei, 2007. 718 p.

UCHÔA, S. C. P.; IVANOFF, M. E. A.; ALVES, J. M. A.; SMIDERLE, O. J.; SEDIYAMA, T. Adubação de potássio em cobertura nos componentes de produção de cultivares de girassol. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, p.8-15, 2011.

VAFIAE, A.; EBADI, A.; RASTGOU, B.; MOGHADAM, S.H. The effects of Potassium and magnesium on yield and some physiological traits of Safflower (*Carthamus tinctorius*). **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, London, v.5, n.17, p.1895-1900, 2013.

VAGUSEVICIENE, I; BURBULIS, N; JONYTIENE, V; VASINAUSKIENE, R. Influence of nitrogen fertilization on winter wheat physiological parameters and productivity. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 10, n. 3 e 4, p.733-736, 2012.

VAVILOV, N.I. **The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants**. Ronald Press Company, New York, 1951. 364 p.

VELASCO, L., B. PÉREZ-VICH, J.M. FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ. Identification and genetic characterization of a safflower mutant with a modified tocopherol profile. **Plant Breeding**, Malden, v.124, p. 459-463, 2005.

VIANA, E. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade de redutase de nitrato em plantas de trigo**. 96f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

XU, G.; WOLF, S.; KAFKAFI, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 4, p. 719-734, 2002.

YAU, S.K e J RYAN. Response of rainfed safflower to nitrogen fertilization under Mediterranean conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 32, p. 318-323, 2010.

ZARATIN, C.; SOUZA, S. A. de; PANTANO, A. C., SÁ, M.E.; ARF, O.; BUZETTI, S. Efeitos de quatro doses de potássio em seis cultivares de arroz de sequeiro irrigado por aspersão. I. componentes de produção e produtividade. **Científica**. Jaboticabal, v.32, n.2, p. 115-120, 2004.