

FERNANDO LUIZ DA CRUZ BALENA

ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CULTURA ENERGÉTICA –
CÁRTAMO

CASCVEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2020

FERNANDO LUIZ DA CRUZ BALENA

ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CULTURA ENERGÉTICA –
CÁRTAMO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos
Coorientador: Prof. Dr. Douglas Bassegio

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2020

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Balena, Fernando Luiz da Cruz
Adubação nitrogenada em cultura energética : cártamo /
Fernando Luiz da Cruz Balena; orientador(a), Reginaldo
Ferreira Santos; coorientador(a), Douglas Bassegio, 2020.
81 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste
do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e
Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Energia na Agricultura, 2020.

1. Carthamus tinctorius L.. 2. Manejo de nutrientes. 3.
Eficiência econômica. I. Santos, Reginaldo Ferreira. II.
Bassegio, Douglas. III. Título.

FERNANDO LUIZ DA CRUZ BALENA

Adubação nitrogenada em cultura energética - cártamo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



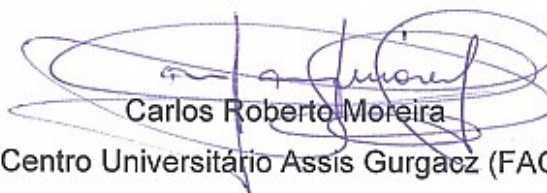
Orientador(a) - Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Luciene Kazue Tokura

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Roberto Moreira

Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 27 de fevereiro de 2020

DEDICO

*“Aos meus pais, irmã e familiares,
com carinho e respeito”.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), pela oportunidade de participar do Curso de Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Ao professor Dr. Reginaldo Ferreira Santos pela presteza, dedicação, sábia orientação e amizade. Aos professores Dr. Douglas Bassegio, Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior, Dra. Luciene Kazue Tokura e Dra. Carla Limberger Lopes, pela revisão e sugestões apresentadas, o meu mais alto apreço.

Agradecimentos extensivos ao professor Dr. Jerry Adriani Johann, pela cessão da área, apoio na realização do experimento e empenho às causas da agricultura.

Ao laboratório de alimentos da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDETEC), pela parceria técnica firmada e espaço concedido para desenvolvimento de pesquisa.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura (Agroenergia), pelos ensinamentos e experiências compartilhadas.

Aos colegas de mestrado, pela troca de experiências, companheirismo e agradável convivência.

De forma especial aos amigos e familiares, que compreenderam os momentos de ausência e que de longe torceram por mim, sempre apoiando e incentivando.

Aproveito o ensejo, para agradecer a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e que tornaram isso possível...

Meus sinceros agradecimentos!

*“Tomorrow’s forestry begins today”
(FPInnovations).*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características físicas e químicas de fertilizantes nitrogenados.....	14
Tabela 2	Evolução dos fertilizantes entregues ao mercado nacional (2015 a 2018).....	17
Tabela 3	Precipitações pluviais (PP) registradas durante o ciclo de cultivo (2018) e média histórica (1975 a 2018) para cada mês, estação de Dois Irmãos. Toledo-PR, 2018.....	21
Tabela 4	Atributos químicos do solo da área experimental, profundidade de 0 a 0,2 m. Toledo-PR, 2018.....	23
Tabela 5	Teste F e valores médios fenotípicos de cártamo, em função das diferentes quantidades de N-ureia, aplicadas em cobertura. Toledo-PR, 2018.....	30
Tabela 6	Teste F e valores médios produtivos e qualitativos de cártamo, em função das diferentes quantidades de N-ureia, aplicadas em cobertura. Toledo-PR, 2018.....	38
Tabela 7	Coefficiente de correlação de Pearson (r), entre rendimento de grãos de cártamo e sua composição química. Toledo-PR, 2018.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais fases de desenvolvimento da cultura do cártamo.....	5
Figura 2	Efeito da densidade populacional na estrutura das plantas, padrões de ramificação e indicação dos capítulos florais primários, secundários e terciários.....	6
Figura 3	(a) Amônio adsorvido na fase sólida do solo em equilíbrio com o amônio em solução; (b) nitrato livre na solução do solo em condições de ser prontamente absorvido pelas plantas ou de ser lixiviado com facilidade e atingir, inclusive, o lençol freático.....	8
Figura 4	Comportamento das variáveis meteorológicas de precipitação (■) e temperatura máxima (—) e mínima do ar (---) durante ciclo vegetativo de cultivo do cártamo de 15 de maio a 20 de outubro de 2018, em Toledo-PR.....	22
Figura 5	(A) adubo nitrogenado distribuído em sulcos previamente abertos. (B) plantas em estágio de roseta, 30 dias após emergência.....	24
Figura 6	Gráficos com retas ajustadas aos dados do experimento de adubação, com cinco níveis de N-ureia, aplicadas em cobertura, em função das variáveis: (A) altura de planta, em cm; (B) diâmetro de caule, em mm; e (C) massa seca da parte aérea, em t ha ⁻¹ . Toledo-PR, 2018.....	31
Figura 7	Gráficos com equação de segundo grau ajustada aos dados do experimento de adubação, com cinco níveis de N-ureia, aplicadas em cobertura, sobre as variáveis: (A) número de ramificações por planta ⁻¹ , e (B) número de capítulos florais por planta ⁻¹ . Toledo-PR, 2018.....	36
Figura 8	Diferentes quantidades de N-ureia (kg ha ⁻¹), aplicadas em cobertura, em função da variável massa de mil grãos (g). Toledo-PR, 2018.....	39
Figura 9	Curva de resposta do rendimento de grãos de cártamo ao fertilizante nitrogenado, com indicação da dose de máxima eficiência agrônômica. Toledo-PR, 2018.....	41
Figura 10	Curva de resposta, mostrando o efeito da aplicação de nitrogênio sobre a produção de grãos de cártamo, com ajuste do polinômio do 2° grau, linha de custo para P _x /P _y = 2,41 e indicação de dose mais econômica. Toledo-PR, 2018.....	43
Figura 11	Reflexo do excesso de chuvas, 158 dias após operação de semeadura.....	45
Figura 12	Diferentes quantidades de N-ureia (kg ha ⁻¹), aplicadas em cobertura, em função das variáveis: (A) teor de proteína nos grãos (%); (B) teor de óleo nos grãos (%); e (C) teor de fibra nos grãos (%). Toledo-PR, 2018.....	46
Figura 13	Gráfico de dispersão, representando a correlação linear positiva (r > 0) existente entre rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) e teor de proteína nos grãos (%). Toledo-PR, 2018.....	49

BALENA, Fernando Luiz da Cruz; Me.; Universidade Estadual do Oeste do Paraná; fevereiro de 2020; **Adubação nitrogenada em cultura energética – cártamo**; Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos; Coorientador: Prof. Dr. Douglas Bassegio.

RESUMO

O manejo eficiente de nutrientes cumpre importante papel para o bem-estar das comunidades, como suporte à produção das indústrias de alimentos, rações, biomassa e combustíveis alternativos, que dependem de uma agricultura viável e sustentável no mundo todo. Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o efeito da aplicação de doses de adubo nitrogenado em cobertura, sobre componentes diretos e indiretos produtivos na cultura do cártamo. A semeadura foi realizada sob condição de campo, em uma pequena propriedade rural localizada no município de Toledo-PR. Os tratamentos, dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições, foram compostos por cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), na forma de ureia (45% N), incorporado, manualmente, em cobertura, 30 dias após a emergência do cártamo. Parâmetros morfométricos foram avaliados no estágio de floração plena, bem como produtividade e composição química de aquênios, quando da maturação fisiológica das plantas. Os dados coletados foram submetidos às pressuposições do modelo estatístico e, posteriormente, à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de significância. Em conjunto, ajustaram-se equações de regressão para médias das variáveis quantitativas. Para dados de rendimento de grãos, teor de óleo, proteína e fibra, aplicou-se o teste de correlação linear. Resultados permitem concluir que o rendimento de grãos de cártamo foi, fortemente, influenciado pela aplicação de N-ureia, com rendimento máximo na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, obtida da equação de segundo grau ajustada aos cinco níveis de N, aplicados em cobertura. A esse nível de utilização a produção estimada de grãos foi de 520 kg ha⁻¹. Pela análise conjunta entre a equação de regressão que liga os níveis de N, aplicados em cobertura, ao rendimento de grãos, bem como pelos preços do adubo nitrogenado e grãos de cártamo, praticados no período, obteve-se a dose mais econômica de 70 kg ha⁻¹ de N, apropriada para alcançar o máximo lucro por unidade de área. Em resposta aos tratamentos, constatou-se correlação linear positiva entre as variáveis, rendimento de grãos e teor de proteína ($r = 0,51$). Porém, não houve correlação estatisticamente significativa entre rendimento de grãos e teor de óleo e, ou, teor de fibra no grão. Para diâmetro de caule, biomassa seca da parte aérea, rendimento de grãos, número de ramos e capítulos florais por planta, constatou-se incremento com aplicação de N-ureia, indicando que a cultura responde de forma positiva à fertilização nitrogenada em cobertura. Conclui-se que o uso sustentável de fertilizante nitrogenado, por meio da dose de máxima eficiência econômica, contribui para uma melhor saúde vegetal e, ao mesmo tempo, diminui os custos de produção que podem determinar o insucesso do negócio.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

PALAVRAS-CHAVE: *Carthamus tinctorius* L.; manejo de nutrientes; eficiência econômica.

BALENA, Fernando Luiz da Cruz; M.Sc.; State University of West Paraná; February 2020; **Nitrogen fertilization of the energy crop – safflower**; Advisor: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos; Co-advisor: Prof. Dr. Douglas Bassegio.

ABSTRACT

Efficient crop nutrient management plays an important role in the well-being of communities worldwide, supporting the production of food, feed, biomass, and alternative fuels that depend on viable and sustainable agriculture. The objective of this study was to evaluate the effects of nitrogen fertilizer application on the direct and indirect productive components of safflower. Sowing was carried out under field conditions on a small rural property in the municipality of Toledo, PR, Brazil. The treatments were arranged in randomized blocks with four replicates, and consisted of five doses of nitrogen (0, 50, 100, 150, and 200 kg ha⁻¹) in the form of urea (45% N), which was manually incorporated into the soil 30 days after plant emergence. Morphometric parameters were evaluated at the full flowering stage, and the yield and chemical composition of the achenes were assessed during physiological maturation of the plants. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) at the 5% significance level. Regression equations were fitted to the means of the quantitative variables. For grain yield, protein content, and lipid and fiber data, a linear correlation was applied. The results showed that safflower grain yield was strongly influenced by the application of N-urea, with the maximum yield at a dose of 120 kg ha⁻¹ N. At this level of use, grain production was around 520 kg ha⁻¹. A joint analysis of the regression equation for N-urea application and grain yield, and the prices of N and safflower grains used, revealed that the most economical dose was 70 kg ha⁻¹, which provided the maximum profit per unit area. There was a positive linear correlation between grain yield and protein content ($r = 0.51$). However, there was no statistically significant correlation between grain yield and oil content and/or fiber content. Stem diameter, aerial dry biomass, grain yield, number of branches, and floral chapters per plant increased with N fertilization application, indicating that safflower culture responds positively to nitrogen fertilization. We conclude that sustainable use of nitrogen fertilizer using the maximum economic efficiency dose, can contribute to better plant health and, at the same time, reduce production costs.

“This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brazil (CAPES) – Finance Code 001”.

KEYWORDS: *Carthamus tinctorius* L.; nutrient management; economic efficiency.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo geral.....	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Cártamo.....	4
2.2 Suprimento e assimilabilidade de nitrogênio pelas plantas.....	7
2.3 Adubação nitrogenada.....	11
2.3.1 Uréia.....	12
2.4 Consumo energético da indústria de fertilizantes nitrogenados.....	15
2.5 Manejo eficiente de fertilizantes nitrogenados.....	15
2.6 Dose mais econômica de fertilizante.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Área experimental, clima e solo.....	21
3.2 Implantação e condução do experimento.....	23
3.2.1 Adubação.....	24
3.2.2 Delineamento experimental.....	25
3.2.3 Tratos culturais.....	25
3.3 Avaliação de caracteres agronômicos.....	25
3.3.1 Variáveis fenotípicas.....	26
3.3.2 Variáveis produtivas e qualitativas de grãos.....	26
3.3.3 Dose mais econômica de N-ureia.....	28
3.4 Análise estatística.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Variáveis fenotípicas.....	30
4.2 Variáveis produtivas e qualitativas de grãos.....	38
4.2.1 Rendimento de grãos.....	41
4.2.1.1 Dose de máxima eficiência agronômica (DMEA).....	41
4.2.1.2 Dose de máxima eficiência econômica (DMEE).....	42
4.2.2 Teor de óleo, proteína e fibra.....	46
5 CONCLUSÕES	52
6 REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE A – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	65
APÊNDICE B – DADOS DE PRODUÇÃO, EFICIÊNCIA E ECONÔMICOS CALCULADOS	66
APÊNDICE C – PROTOCOLO DE APROVAÇÃO DO PLANO DE TRABALHO (ANÁLISES LABORATORIAIS)	67
APÊNDICE D – IMAGENS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA A CAMPO E LABORATORIAIS	68
ANEXO A – PREÇOS MÉDIOS MENSIS PAGOS PELA AGRICULTURA	69
ANEXO B – PREÇOS RECEBIDOS, MÉDIA DO ANO DE COMERCIALIZAÇÃO PARA O CÁRTAMO	70

1 INTRODUÇÃO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma planta herbácea de ciclo anual, oleaginosa, com grande potencial energético, que pertence à classe das angiospermas, subclasse das dicotiledôneas e da família Asteraceae (Compositae) (PACE et al., 2015). Também conhecido popularmente como açafraão bastardo ou açafroa tem como provável centro de origem a Ásia e África (DAJUE; MÜNDEL, 1996; CORONADO, 2010).

No Brasil, o rendimento de grãos (aquênios) de cártamo é pouco expressivo, uma vez que os cultivos ainda se restringem à pesquisa. Porém, a cultura tem chamando atenção, devido à alta adaptabilidade a distintas condições agroclimáticas (MOURA et al., 2015).

Os cultivos de cártamo vêm se expandindo mundialmente, principalmente, por meio dos bancos de germoplasma, contudo, não o suficiente, pois ainda não é uma cultura popular e difundida (GALANT; SANTOS; SILVA, 2015). Todavia, é considerada uma planta promissora, por apresentar sementes com alto teor de óleo (40%) e proteína (36%) (ABUD et al., 2010), podendo ser utilizada para fins alimentícios e industriais (MARTINS et al., 2017).

As demandas energéticas da sociedade moderna são crescentes, ao passo que a busca por alternativas sustentáveis, que visem driblar os impactos impostos pelas fontes energéticas poluidoras são cada dia mais evidentes. Nesse sentido, o cultivo de plantas energéticas pode produzir biomassa na forma de combustíveis, abrindo oportunidade à implantação de culturas com grande potencial, como o cártamo.

Devido à baixa possibilidade de expansão da área de cultivo em escala global, a inclusão do cártamo em áreas mais áridas poderá ajudar a atender à crescente demanda por óleo vegetal, para alimentação humana e animal, indústria de cosméticos, tintas, fármacos e biodiesel (SANTOS; SILVA, 2015). Mesmo com alta capacidade adaptativa, a irrigação e adubação, como a nitrogenada, são insumos que, certamente, elevarão a produtividade desses cultivos.

Diante da importância de inserção do cártamo na agricultura brasileira e dos estudos ainda serem considerados de baixa monta, torna-se necessário o

desenvolvimento de pesquisa, que envolva todos os aspectos de manejo da cultura, em especial, os voltados para necessidades nutricionais das plantas.

Estudos voltados à adubação nitrogenada são necessários, pois seu manejo visa expressar o máximo potencial produtivo dos cultivos. Sabe-se que o nitrogênio (N) é o elemento exigido em maior quantidade pelas culturas, comparativamente a qualquer outro macronutriente. O N é o elemento da qualidade porque faz parte da composição das proteínas de todas as plantas e animais; entretanto, a quantidade de N suprida pela maioria dos solos é pequena (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO - POTAFOS, 1998).

Em contrapartida, o uso de adubos deve ser algo consciente, visto que aproximadamente 1% da produção mundial de energia e as consequentes emissões de gases do efeito estufa (GEE) estão associados à síntese de amônia para produção de fertilizantes nitrogenados (KITANO et al., 2012). Além disso, há toda energia incorporada à logística de transporte, muitas vezes, prejudicial ao meio ambiente (MARCONATO, 2012).

Doravante, ao avaliar a omissão de macro e micronutrientes em plantas de cártamo, cultivadas em solução nutritiva, Bonfim-Silva et al. (2016) constataram que a deficiência de nitrogênio, fósforo e cálcio não permitiu que as plantas completassem seu ciclo de vida. Para Zanão Júnior et al. (2017), o N é o nutriente mais extraído do solo pelo cártamo e também mais exportado na colheita de grãos.

Apesar da abundância do gás dinitrogênio ($N_2 = 78\%$) na atmosfera, é considerado o nutriente mais limitante ao crescimento vegetal. Isso ocorre, pois o N_2 não pode ser utilizado diretamente pela maioria dos organismos, em virtude de sua ligação tripla entre os átomos de nitrogênio e que torna a molécula quase inerte (VIEIRA, 2017).

Para absorção pelas plantas, torna-se necessária a transformação do N_2 em formas assimiláveis, como: amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e pela fixação biológica de N_2 , tanto em sistemas livres quanto simbióticos, por meio de bactérias formadoras de nódulos nas raízes de plantas da família Leguminosae (JONES et al., 2013). Porém, a cultura do cártamo não se enquadra no grupo das leguminosas, necessitando de maior quantidade de fertilizante nitrogenado. Assim, essa adubação faz aumentar os custos de produção. Logo, torna-se importante conhecer a real demanda do nutriente nitrogênio pela cultura do cártamo (MAGALHÃES, 2017).

Portanto, diante da necessidade de informações sobre as demandas de nitrogênio, ou mesmo o efeito de distintas taxas de nitrogênio sob condições agrícolas de baixo insumo, com vistas ao uso racional de adubos químicos e o pleno desenvolvimento vegetal, desenvolveu-se o presente estudo.

1.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da aplicação de doses de fertilizante nitrogenado em cobertura, sobre componentes diretos e indiretos produtivos da cultura do cártamo, sob sistema de cultivo mínimo, na região de Toledo-PR.

1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o efeito da aplicação de distintas doses de N-ureia em cobertura, sobre as variáveis fenotípicas de planta: altura, diâmetro de caule, massa seca da parte aérea, número de ramificações e capítulos florais;
- b) Verificar a influência de diferentes doses de N-ureia, aplicadas em cobertura, sobre as variáveis produtivas e qualitativas de grãos: rendimento de grãos, massa de mil grãos e sua composição química (teor de óleo, proteína e fibra);
- c) Determinar a dose ótima de adubo mineral, em termos econômicos, a partir dos dados experimentais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cártamo

O cártamo é cultivado há mais de dois mil anos, sendo utilizado para diversos fins agroindustriais (SILVA, 2013). Planta conhecida antes mesmo da Era Cristã e que vem sendo utilizada na culinária, especialmente, na produção de corantes para tingir e aromatizar alimentos (VITAFOR, 2018). Seus grãos (aquênios) possuem elevado teor de óleo, de coloração amarelo dourado e sabor oleaginoso muito suave, de ótima qualidade, tanto para consumo humano como para o uso industrial (MÜNDEL et al., 2004).

Tradicionalmente, em países como o Canadá, o óleo extraído dos grãos de cártamo é comercializado como um alimento saudável, por possuir altos níveis de ácido graxo do tipo oleico ou linoleico (MÜNDEL et al., 2004).

Para Weiss (1971), existe um mercado com grande potencial para o óleo de cártamo, pois são múltiplas as suas aplicações, sendo que a maior demanda se concentra para consumo humano, empregado, principalmente, em frituras, saladas e margarinas.

O óleo de cártamo apresenta alto potencial para uso energético como biodiesel. Porém, outras partes da planta também podem ser utilizadas na forma de forragem para alimentação animal e as flores para o mercado ornamental (MOURA et al., 2015).

É uma planta oleaginosa, de ciclo anual, herbácea e de caule ereto, ramificado, com altura oscilando entre 0,3 e 1,5 m, a depender do manejo cultural adotado, material genético e condições ambientais às quais for submetido. Possui, ainda, alta tolerância ao estresse por déficit hídrico, porém, pouco tolerante a condições de alta umidade (DAJUE; MÜNDEL, 1996; RIVAS; MATARAZZO, 2009).

O caule produz ramificações em número variável. De cada ramificação, produz de 1 a 5 capítulos florais de coloração branca, amarela, laranja ou vermelha (BURKART, 1974). As flores são tubulares, hermafroditas, contudo alguns estudos têm registrado uma taxa de 10% de hibridação (RIVAS; MATARAZZO, 2009).

O cártamo requer pelo menos 120 dias para completar seu ciclo normal, porém, pode haver variação nesse valor de 120 a 150 dias (Figura 1). No México, houve registrado de ciclos de até 170 dias (KAFFKA; KEARNEY, 1998).

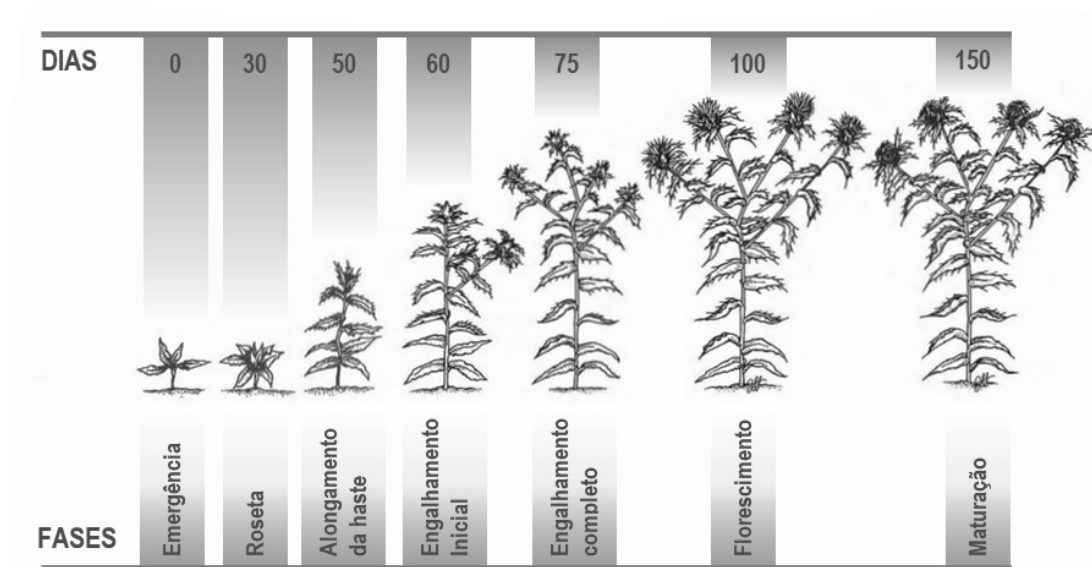


Figura 1 – Principais fases de desenvolvimento da cultura do cártamo.

Fonte: Adaptado de Kaffka e Kearney (1998).

Para Galant, Santos e Silva (2015), o cártamo pode ser uma opção de cultivo na safrinha ou para o período de seca, em algumas regiões agrícolas brasileiras. Aspecto importante no planejamento dos cultivos, pois é possível evitar a competição com culturas tradicionais, de maior importância econômica, como a soja e o milho na safra de verão.

De forma geral, adapta-se a qualquer tipo de solo. Todavia, se considerarmos três tipos de solos, os de textura média são os que obtêm as maiores produtividades, seguidos pelos arenosos e, por último, os argilosos (CORONADO, 2010). Os maiores rendimentos de cártamo são obtidos em solos profundos, férteis e com boa drenagem (KAFFKA; KEARNEY, 1998).

De acordo com Oelke et al. (1992), os cultivos de cártamo podem ter bom desempenho produtivo, mesmo em regiões com 350 a 400 mm de chuva, porém, o desempenho se mostra superior quando as precipitações ficam por volta de 600 mm. Os cultivos ocorrem em altitudes que vão do nível do mar até 2.000 m. Suporta grande amplitude térmica, as quais podem variar de - 7 a 40 °C dependendo do seu estágio de desenvolvimento. Tolerância baixas temperaturas e ainda suporta valores negativos nas primeiras fases do ciclo vegetativo (estádio de roseta).

Para que ocorra germinação, as sementes demandam condições de temperatura e umidade do solo, ou seja, uma temperatura ambiente superior a 4 °C e uma temperatura do solo entre 15 e 20 °C. Plantas de cártamo, normalmente,

levam de sete a oito dias para emergir e permanecem em estágio de roseta por um período de quatro a cinco semanas. Durante a fase de roseta, a planta produz bastante folhas ao nível do solo e apresentam rápido crescimento radicular. Posteriormente, ocorre um acelerado crescimento do caule e, aproximadamente, a uma altura de 0,3 m do solo, aparecem as primeiras ramas da haste principal. O número de ramos (primários, secundários e terciários) depende muito da densidade populacional; porém, fatores edafoclimáticos também podem influir (Figura 2) (CORONADO, 2010).



Figura 2 – Efeito da densidade populacional na estrutura das plantas, padrões de ramificação e indicação dos capítulos florais primários, secundários e terciários.

Fonte: Adaptado de Weiss (1971), Kaffka e Kearney (1998).

A floração ocorre, inicialmente, nos capítulos (botões) dos ramos primários; posteriormente, dos secundários e, assim, sucessivamente. O fruto do cártamo (aquênio maduro), das variedades mais comuns, é constituído de 30 a 60% de casca e 40 a 60% de amêndoa. O cártamo possui inflorescência em capítulo; essa estrutura pode conter entre 15 a 30 aquênios, ou mais, de coloração branca e brilhosa. Contudo, o rendimento dos cultivos depende do número de plantas por hectare, do número de flores férteis por planta, assim como do número de capítulos e aquênios e, em menor grau, pelo tamanho dos aquênios (RIVAS; MATARAZZO, 2009; CORONADO, 2010).

Na Argentina, os maiores rendimentos são obtidos em solos férteis e permeáveis, com boa capacidade de armazenamento de água em profundidade. Doravante, pesquisas indicam que a raiz pivotante do cártamo pode melhorar a

porosidade do solo. Em sistemas de plantio direto, observou-se a contribuição na formação de macroporos e o rompimento de camadas de solo compactada (RIVAS; MATARAZZO, 2009).

No caminho oposto às grandes culturas, espécies vegetais de menor expressão econômica, como cártamo, são muitas vezes subestimadas e, para estas, o básico conhecimento sobre o manejo é escasso, limitando a atividade exploratória. Salienta-se que muitas espécies de cultivo, considerado secundário, adaptam-se a vários ambientes de produção, são pouco exigentes em tratamentos culturais e podem fornecer produtos de excelente qualidade, além de poder representar elevadas produtividades, contribuindo para a rentabilidade de empreendimentos rurais (MOURA et al., 2015).

2.2 Suprimento e assimilabilidade de nitrogênio pelas plantas

Cerca de 94 a 99,5% do tecido verde dos vegetais é constituído de nutrientes não-minerais (carbono, hidrogênio e oxigênio), encontrados na atmosfera e na água. Apesar disso, são os elementos minerais obtidos do solo e que representam, apenas, 0,5 a 6% da composição do tecido vegetal, que geralmente limitam o desenvolvimento das culturas (BRADY; WEIL, 2013).

Para Liebig (1840), a produtividade da planta é proporcional à quantidade disponível do nutriente mais limitante. Conforme Reetz (2017), nas áreas onde os nutrientes primários não se constituem mais em fatores limitantes, os fertilizantes são usados para fornecer os nutrientes secundários e também micronutrientes. Entretanto, para alguns países em desenvolvimento, como África e Ásia, o nitrogênio e fósforo ainda são os elementos mais limitantes na produção das culturas.

Na litosfera o N está distribuído nas rochas, fundo dos oceanos e nos sedimentos. O compartimento representado pela crosta terrestre, contém 98% do N existente no planeta (VIEIRA, 2017). Por sua vez, cerca de 78% do ar que respiramos é constituído de nitrogênio molecular (N_2). De fato, a atmosfera é um grande reservatório de N no planeta, representando, cerca de $3,9 \times 10^{15}$ toneladas (STEVENSON, 1982).

Porém, nem um quilo desse N pode ser usado pelas plantas até que ele seja modificado por processo natural ou por meio da produção de fertilizantes comerciais. Com base em vários processos biológicos e, ou, industriais de fixação o N_2

atmosférico pode ser transformado nas formas assimiláveis pelas plantas (POTAFOS, 1998; TAIZ et al., 2017).

O N é absorvido pelas plantas nas formas nítrica (NO_3^-), amoniacal (NH_4^+), amídica [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] e gasosa (N_2), sendo as duas primeiras formas predominantes no processo de absorção pelas plantas e a última exclusiva das leguminosas (VILLALBA et al., 2014).

A maioria do nitrogênio é absorvido, quer na forma amoniacal (sais de amônio, NH_4^+), quer na forma nítrica (sais de nitrato, NO_3^-), dependendo das condições do solo, da espécie, da planta e do seu estágio de crescimento. Via de regra, os íons dos nitritos (sais de nitritos, NO_2^-), tóxico para as plantas, se apresentam apenas em pequenas quantidades, uma vez que são rapidamente oxidados para forma de nitratos (BRADY, 1983).

A forma de nitrato é a que predomina durante o processo de nutrição das plantas, porém, por ter carga negativa não se encontra protegido pela fase sólida do solo, ou seja, encontra-se em solução, movendo-se essencialmente por fluxo de massa (JONES, 2012). Contudo, muitas vezes a água de drenagem pode levar este íon para fora da zona radicular, podendo ser facilmente perdido por lixiviação (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2001; COSTA, 2014). Na Figura 3 mostra-se condições em que o amônio fica protegido nos sítios de troca (micela) e de não proteção no nitrato, fração que fica presente na solução do solo.

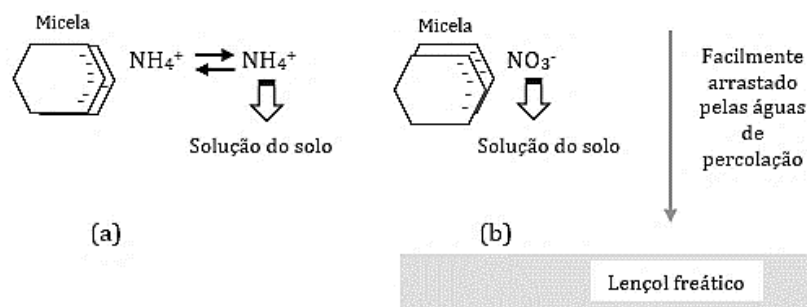


Figura 3 – (a) Amônio adsorvido na fase sólida do solo em equilíbrio com o amônio em solução; (b) nitrato livre na solução do solo em condições de ser prontamente absorvido pelas plantas ou de ser lixiviado com facilidade e atingir, inclusive, o lençol freático.

Fonte: Adaptado de Luchese, Favero e Lenzi (2001).

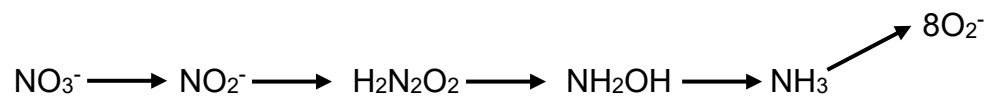
Conforme Alcântara e Camargo (2005), o íon nitrato não é retido em solos com predominância de cargas negativas, contudo, nas condições brasileiras, como

muitos dos solos apresentam horizontes subsuperficiais com cargas positivas, poderiam retardar consideravelmente a lixiviação do nitrato.

A assimilação de nitrogênio inorgânico (nitratos e amônio) em compostos orgânicos é um dos mais importantes processos na biosfera, quase equivalente à fotossíntese e à respiração. O nitrato é a principal fonte de nitrogênio disponível para as plantas cultivadas sob condição de campo, devido ao processo de nitrificação no solo (MARSCHNER, 1995). Uma vez dentro da célula, o nitrato é reduzido à amônia, que é rapidamente incorporada em compostos orgânicos. Na maioria das plantas herbáceas, esse processo ocorre, principalmente, no citosol e nos cloroplastos das folhas, estando intimamente associado à fotossíntese (EVERT; EICHHORN, 2014).

Parra, Chaves e Muzilli (1982) descreveram brevemente as principais etapas do nitrogênio nas plantas, até a síntese de proteínas:

1. Estando no interior das plantas, os nitratos sofrem uma série de reduções até serem transformados em amônia (NH₃), com perda de oxigênio:



2. Estando reduzido, o nitrogênio é incorporado aos esqueletos carbônicos, formando os aminoácidos:



3. Por reação de transaminação, os aminoácidos (existem 21 aminoácidos essenciais) formam cadeias, propiciando como produto final a síntese das proteínas:



As proteínas participam, como enzimas, nos processos metabólicos das plantas, portanto, tendo maior função do ponto de vista funcional do que estrutural (RAIJ, 1991). Na planta, as proteínas desempenham papel plástico (formação dos tecidos) e função de reserva de N. Mantendo-se em equilíbrio dinâmico, constantemente, desdobrada e resintetizada. O N nas folhas mais velhas, em que

as proteínas são desdobradas, se transloca para folhas mais novas, nas quais as proteínas são ressintetizadas (PARRA; CHAVES; MUZILLI, 1982).

O fato das folhas mais novas conservarem-se verdes, mesmo em condições de deficiência de nitrogênio, é um indicativo da mobilidade desse nutriente nas plantas. Além disso, o nitrogênio participa da composição da molécula de clorofila (RAIJ, 1991). Portanto, tem notável influência sobre o crescimento vegetativo.

Para Epstein e Bloom (2005), exceto a seca, nenhuma deficiência é tão dramática em seus efeitos quanto a de N, em que a clorose generalizada e hábito estiolado são os sintomas mais característicos. O crescimento é retardado e lento; além disso, as plantas têm uma aparência não viçosa. O fruto é excepcionalmente bem colorido. Porém, as partes mais maduras da planta são as primeiras a se tornar afetadas, pois o N transloca-se de regiões mais velhas para as mais jovens, que crescem ativamente. Mengel e Kirkby (1987) acrescentam que os problemas incluem raízes sem ramificações, colapso no desenvolvimento dos cloroplastos e as folhas tornam-se cloróticas, com necrose no estágio mais avançado da deficiência.

O nitrogênio é necessário para a síntese da clorofila e, como parte da molécula da clorofila, está envolvido na fotossíntese. Falta de nitrogênio e clorofila significa que a planta não irá utilizar a luz do sol como fonte de energia para levar a efeito funções essenciais, como a absorção de nutrientes. O N é um componente de vitaminas e do sistema enzimático da planta, componente essencial dos aminoácidos, os quais formam as proteínas; em consequência, o N é responsável direto pelo aumento do teor de proteína (POTAFOS, 1998; TAIZ et al., 2017).

Certamente, dos vários nutrientes vegetais, o nitrogênio é o que tem sido mais pesquisado e que tem recebido maior atenção nos últimos anos. Segundo Brady e Weil (2013), há, para isso, razões muito fortes, visto que o N existe no solo em pequena quantidade, ao passo que a retirada anual pelas culturas é comparativamente grande. Em certas ocasiões, o N do solo é altamente solúvel e se perde mediante drenagem. Em outras, fica sujeito à volatilização ou ainda pode ficar completamente inassimilável para os vegetais superiores. Além disso, são, em geral, acentuados e rápidos os seus efeitos sobre os vegetais, de maneira que aplicações em excesso poderão ser prejudiciais.

2.3 Adubação nitrogenada

A maior parte do nitrogênio atmosférico não está diretamente disponível para os seres vivos. A aquisição do nitrogênio da atmosfera, para a formação de amônia (NH_3) ou nitrato (NO_3^-), exige a quebra de sua tripla ligação ($\text{N}\equiv\text{N}$), extremamente estável, podendo ser realizada por processos industriais (TAIZ et al., 2017).

O processo industrial Haber-Bosch é o ponto de partida para a formação de produtos industriais e agrícolas à base de nitrogênio. Nessa operação, exigem-se altas temperaturas ($\sim 200^\circ\text{C}$) e pressões ($\sim 200\text{ atm}$) em presença de um catalisador metálico, geralmente, ferro, para que o N_2 se combine com hidrogênio, a fim de formar amônia (COSTA, 2014), matéria-prima base para produção dos fertilizantes nitrogenados.

Em geral, os adubos minerais são sais inorgânicos de diferentes solubilidades, em que a eficiência agrônômica depende de sua solubilidade e das reações químicas com o solo. Portanto, a escolha de fertilizantes adequados constitui aspecto muito importante à administração de uma propriedade agrícola, visto que a opção por produtos menos eficientes pode aumentar o custo de produção ou determinar o insucesso da lavoura (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - SBCS, 2016).

Conforme Reetz (2017), os fertilizantes são aplicados para suprir o requerimento natural de nutrientes do solo, com a finalidade de satisfazer as culturas com alto potencial de produtividade, compensar a remoção de nutrientes pelas plantas, além das perdas do sistema solo-planta via mecanismos como lixiviação, volatilização, aumentar e manter o nível de fertilidade do solo.

O uso adequado de fertilizantes minerais é um dos principais fatores para promover a segurança alimentar global nos tempos atuais. Hoje, mais de 48% das sete bilhões de pessoas estão vivendo por causa do aumento da produção das culturas, obtido pela aplicação de fertilizantes nitrogenados. Sem fertilizantes, o mundo poderia produzir somente cerca da metade dos alimentos básicos; além disso, mais áreas sob floresta teriam que ser convertidas em áreas para a produção com culturas (REETZ, 2017).

O nitrogênio se apresenta como elemento mineral essencial para as plantas, pois participa da formação de todos os compostos orgânicos fisiologicamente importantes, como as proteínas, os nucleotídeos e a clorofila, tendo notável

influência sobre o crescimento vegetativo. As plantas podem absorver nitrogênio, tanto na forma de amônio quanto de nitrato e o transformam rapidamente em compostos orgânicos (BELLOTE; FERREIRA; SILVA, 2008).

Contudo, o nitrogênio existe no solo em pequena quantidade, ao passo que a retirada anual pelas culturas é comparativamente grande (BRADY, 1983); nesse caso, surge a necessidade da adição de fertilizantes, conforme a expectativa de rendimento das culturas. A adubação nitrogenada pode ser enquadrada no conceito de manutenção, sendo considerada a contribuição da matéria orgânica e da cultura precedente, a expectativa de rendimento e as perdas do sistema por imobilização, volatilização e lixiviação (SBCS, 2016).

Dada a sua importância e a alta mobilidade no solo, o nitrogênio tem sido intensamente estudado, no sentido de maximizar a eficiência do seu uso (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

Particularmente, a adubação nitrogenada faz-se necessária, pois visa suprir as perdas do nitrogênio do solo devido à remoção pelas colheitas, erosão (perdas pelo arraste de solo e, juntamente com ele, a matéria orgânica e nitrogênio nas formas minerais, ou outras), lixiviação (percolação de N pela água de irrigação ou de chuvas), imobilização (pelos microrganismos presentes no solo) e por volatilização (perdas gasosas, caso da amônia, antes da formação do amônio, ou processo de desnitrificação que ocorre pela baixa oxigenação do solo, provocando a formação de nitrogênio na forma molecular - N₂) (PARRA; CHAVES; MUZILLI, 1982; LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2001).

2.3.1 Ureia

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais empregado atualmente no Brasil. Trata-se de um produto sólido, em forma de pérola (1 - 2 mm) ou grãos (2 - 4 mm), cuja principal característica é o N na forma amídica [CO(NH₂)₂]. A síntese para produção de ureia, a partir de amônia e gás carbônico, produzidos numa mesma unidade, torna o produto menos oneroso que os demais fertilizantes nitrogenados, visto que a ureia possui teor de N bem mais alto (45%), proporcionando um preço mais atrativo por tonelada de N (FRANCO; SARAIVA NETO, 2007). A reação geral da síntese é $\text{CO}_2 + 2\text{NH}_3 \rightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$.

A ureia é bastante higroscópica, o que limita seu uso em misturas com outros fertilizantes. Aplicada ao solo é hidrolisada, rapidamente, sendo transformada em NH_4^+ , que é oxidado à NO_3^- . Resultados satisfatórios podem ser obtidos com esse fertilizante, desde que seja aplicado de maneira apropriada, levando-se em consideração a quantidade usada, as características físicas e químicas do solo (MELLO, 1987).

Quando aplicada ao solo, pode sofrer hidrólise por ação da enzima urease, convertendo o R-NH_2 em NH_4^+ . Por consumir hidrogênio (H^+) do meio, essa reação promove elevação no pH do solo próximo aos grânulos de fertilizantes, favorecendo a transformação do NH_4^+ em NH_3^+ , uma forma gasosa passível de perda por volatilização (VILLALBA et al., 2014).

Para Lara-Cabezas, Korndörfer e Motta (1997), perdas acima de 30% por volatilização de NH_3 foram observadas quando N-ureia foi aplicada superficialmente. Conforme Ernani, Sangoi e Rampazzo (2002) e Trivelin et al. (2002), a incorporação da ureia ao solo proporciona diminuição das perdas por volatilização de NH_3 , pois, ao se difundir no interior do solo em direção à atmosfera, encontra regiões com valores de pH mais baixos do que os próximos aos grânulos de ureia, sendo convertida, novamente, em NH_4^+ .

Aplicação de N em superfície, principalmente na forma de ureia convencional, deve ser evitada, por promover perdas consideráveis de N na forma de NH_3 . Além disso, a incorporação ou utilização de fertilizantes de eficiência aumentada, com inibidores de urease, devem ser considerados (ROCHETTE et al., 2013).

Quando não for possível fazer a incorporação, as perdas por volatilização podem ser minimizadas, misturando-se o fertilizante com a camada superficial do solo, por meio da operação de cultivo. Em contrapartida, as perdas de nitrogênio por volatilização de NH_3 são reduzidas quando ocorrerem chuvas após a aplicação da ureia na superfície do solo (COELHO, 1994). Assim, quando esse fertilizante é aplicado, via água de irrigação, elimina-se, praticamente, o problema, uma vez que a irrigação, em volume adequado, possibilita a movimentação dos nutrientes na solução do solo, até certa profundidade, bem como a redução das perdas atribuídas à volatilização de NH_3 (KATYAL et al., 1987).

Cuidados especiais devem ser efetivados quando da aplicação da ureia via água de irrigação; aspectos, como dinâmica desse nutriente no solo e na demanda

das culturas, devem ser criteriosamente planejados, visando possibilitar o uso mais eficiente dessa tecnologia (COELHO, 1994).

Doravante, em diversos tipos comerciais de ureia, encontra-se o biureto ($\text{NH}_2\text{CONHCONH}_2$), que é tóxico às plantas. Contudo, a legislação brasileira tolera um teor máximo de 0,25% de biureto na ureia. Estando dentro dos limites estabelecidos, essa impureza tóxica não compromete a eficiência da ureia fertilizante (MELLO, 1987).

Teor de biureto superior a 0,3% é danoso para a saúde da maioria dos vegetais, podendo queimar sua folhagem. No solo, teor acima de 1,5% já compromete a germinação de sementes. O efeito corrosivo é também comum quando há contato entre a poeira desse fertilizante e diversos metais, principalmente, o aço carbono. Quanto ao manuseio, recomenda-se a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI), pois pode provocar irritação nos olhos e na pele, causando vermelhidão e dor (PETROBRAS, 2019).

Em resumo, a alta concentração de nitrogênio e a fácil manipulação da ureia tornam esse fertilizante potencialmente superior aos demais, sob o ponto de vista econômico. Entretanto, devido a diferentes efeitos sobre as culturas em distintos solos e climas, torna-se necessário o estabelecimento de um programa de pesquisa a nível regional, visando a uma maior eficiência desse produto como fertilizante.

Na Tabela 1, estão relacionadas algumas propriedades associadas à composição e solubilidade dos principais adubos nitrogenados.

Tabela 1 – Características físicas e químicas de fertilizantes nitrogenados

Fertilizantes	Fórmula	Concentração (g kg ⁻¹)	Densidade (g cm ⁻³)	Ponto de fusão (°C)	Índice salino ¹	Corrosão relativa ²	P.S. ³	
							g kg ⁻¹	°C
Sulfato de amônio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	200 N e 240 S	1,77	2.350	69	BC	706	0
Nitrato de amônio	NH_4NO_3	340 N	1,73	170	105	BC	1.183	0
Nitrocálcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	200 N, 20 a 80 Ca e 10 a 50 Mg	2,50	561	61	SC	1.020	0
Ureia	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	450 N	1,33	133	75	C	780	5

Nota: ¹ Relativo $\text{NaNO}_3 = 100$. ² Corrosão relativa em material de alumínio: SC = sem corrosividade; BC = baixa corrosividade; C = corrosividade a elevada concentração. ³ P.S. = partes solubilizantes em 100 partes de água. **Fonte:** Adaptado de Pesek e Stanford (1971) e Coelho (1994).

2.4 Consumo energético da indústria de fertilizantes nitrogenados

Ao longo dos anos, os processos de produção de amônia e ureia têm sido continuamente aprimorados, visando atingir maiores capacidades, menores investimentos, maior confiabilidade e eficiência energética. O consumo global de energia nos projetos atuais de amônia situa-se na faixa de 6,5 a 7,0 Gcal por tonelada de amônia produzida, dependendo das condições locais, matéria-prima empregada (gás natural, gás de refinaria, nafta, óleo pesado e coque ou carvão) e requisitos de projeto (FRANCO; SARAIVA NETO, 2007).

Mendes Junior e Bueno (2015), em seus estudos numa das maiores indústrias de fertilizantes do Brasil, avaliaram a participação das fontes de energia empregadas no processo de produção industrial dos fertilizantes nitrogenados, particularmente, a ureia. Para tanto, elaboraram um fluxograma completo com todas as entradas energéticas necessárias para produção da ureia, incluindo os insumos não produtivos necessários para fabricação. Dos resultados obtidos, os autores consideram que, para produção de 1 kg de ureia, foram necessários 26.793 kcal.

No Brasil, para apresentação dos índices energéticos, considera-se o Balanço Energético Nacional (BEN), em que: 1 kWh é igual a 860 kcal; 1 m³ de gás natural apresenta, em média, 9.400 kcal; 1 kg de gás carbônico possui, em média, 2.412 kcal; 1 kg de amônia apresenta, em média, 4.439 kcal; 1 kg de hidrogênio possui, em média, 28.642 kcal; 1 kg de nafta, 10.630 kcal; 1 kg de carvão vegetal, 6.460 kcal; 1 kg de coque de carvão mineral, 6.900 kcal; e 1 kg de óleo combustível, 9.590 kcal (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2018).

2.5 Manejo eficiente de fertilizantes nitrogenados

A energia necessária para produzir fertilizantes nitrogenados e para sua aplicação por unidade de área, é cerca de um terço da energia total para fazer crescer a cultura. Portanto, maior eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados significa um balanço positivo de energia (REETZ, 2017).

O crescente número das questões relativas ao manejo de nutrientes das lavouras e da sua importância requer a adoção de uma abordagem que descreva claramente as práticas e seus impactos. Por um lado, a aplicação de nutrientes promove o aumento da produtividade das culturas que alimentam o mundo,

enquanto se poupa o uso da terra para outros fins e se aumenta o retorno de carbono orgânico para o solo, sequestrando, dessa forma, os gases do efeito estufa (GEE). Por outro lado, aplicações incorretas de nutrientes podem acarretar perdas que afetam potencialmente a qualidade da água e do ar de várias formas, assim, possivelmente, elevam os GEE, além dos impactos em longo prazo e em larga escala na produtividade do solo, bem como nas estruturas econômicas e sociais das áreas rurais (BRUULSEMA; LEMUNYON; HERZ, 2009).

O nitrogênio adicionado na forma de fertilizantes ao solo – e que não é absorvido pelos vegetais – pode sofrer ação de processos microbiológicos (nitrificação, desnitrificação, imobilização), químicos (trocas, fixação, precipitação, hidrólise) e físicos (lixiviação, volatilização). Todos esses processos afetam a disponibilidade no N para as plantas. O uso de altas doses de fertilizantes nitrogenados pode resultar aumento no potencial de perdas, por exemplo, lixiviação de nitrato (NO_3^-), perdas de óxido nitroso (N_2O) tanto na nitrificação como na desnitrificação, volatilização de amônia (NH_3) do solo, perdas gasosas de N do tecido das plantas, entre outras. Isso explica a baixa eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados, sendo menor com o aumento das doses. Portanto, esses fatores podem ocasionar baixo desempenho produtivo das culturas, além do risco de contaminação ambiental, implicando diretamente na sustentabilidade dos agrossistemas (VILLALBA et al., 2014).

O desenvolvimento da agricultura de precisão, com o conceito específico de manejo local, nas duas últimas décadas, aumentou significativamente o manejo da fertilidade do solo, da habilidade de praticar uma maior gestão dos nutrientes, das ferramentas para monitoramento e avaliação dos resultados (REETZ, 2017).

Para Murrell (2009), conhecer os fundamentos da nutrição da cultura é essencial. Muitas ferramentas, incluindo análise de solo, análise vegetal e recomendação de adubação, fornecem boa ciência e servem como diretrizes para as decisões quanto ao manejo nutricional.

Adubação mineral representa uma parte relativamente pequena das despesas totais do agricultor, porém, tem uma influência decisiva sobre os rendimentos. O adubo só se paga quando corretamente utilizado; não basta empregar grandes doses de adubos para se obter grandes colheitas, pois a eficácia da adubação está dependente da execução e simultânea de um conjunto de operações culturais, como trabalho conveniente do solo, combate a ervas daninhas

e parasitas, emprego de variedades selecionadas, sementes adequadas, etc. Condições atmosféricas favoráveis ou desfavoráveis ampliam ou reduzem a eficácia dos adubos (GROS, 1977).

O uso discriminado e cuidadoso dos adubos é indispensável sob dois aspectos principais. Primeiramente, os adubos no Brasil são demasiadamente caros. O segundo ponto importante consiste em considerar a fertilidade do solo e a exigência da cultura nos diversos elementos nutritivos. Nesse sentido, quando se considera o problema da adubação, não se pode olvidar a questão da calagem, a qual visa diminuir acidez do solo, criando condições de maior disponibilidade dos elementos às raízes, além de proporcionar maior desenvolvimento dos microrganismos do solo (JORGE, 1988).

Certamente, o desafio à frente é manejar os fertilizantes e o solo de uma forma sustentável, de modo que haja uma melhoria contínua à produção das culturas alimentícias, energéticas e fibrosas. Por meio do uso de práticas científicas adequadas, envolvendo a utilização eficiente de fertilizantes e novas tecnologias, não somente para aumentar a produção das culturas, mas para reduzir os impactos negativos dos fertilizantes nos recursos do ar e hídricos (REETZ, 2017).

2.6 Dose mais econômica de fertilizante

Nos últimos anos a agricultura vem sofrendo importantes processos de transformação, em virtude de uma série de fatores, dentre os quais, destaca-se o acentuado aumento no consumo aparente de fertilizantes (Tabela 2).

Tabela 2 – Evolução dos fertilizantes entregues ao mercado nacional (2015 a 2018)

Período (ano)	Total (1.000 t)
2015	30.201,998
2016	34.083,415
2017	34.438,840
2018	35.506,301

Fonte: Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA (2019).

À medida que o uso de fertilizante vai se tornando cada vez mais importante como insumo para produção agrícola, economicamente, sua utilização racional também vai se tornando igualmente importante. O conhecimento da função de

resposta da produção, obtida de dados experimentais, é de grande valia à determinação do uso racional de fertilizantes, permitindo a determinação de níveis econômicos de uso do adubo a serem recomendados aos agricultores (CAMARGO, 1980).

A chamada lei dos incrementos decrescentes, desenvolvida pelo Dr. Eilh. Alfred Mitscherlich, serve de base para a conceituação da dose mais econômica (MITSCHERLICH, 1930). A cada quantidade de nutriente adicionada, sucessivamente, corresponde um incremento de produção cada vez menor; quando o valor do incremento em produção for exatamente igual ao custo do nutriente, atinge-se um nível de aplicação acima do qual a adubação causa prejuízo e que corresponde à chamada dose mais econômica (RAIJ, 1991).

Mormente aos fatos, é necessário ter presente, porém, que o adubo sozinho não proporciona safras recordes, já que o seu efeito máximo, em termos de volume físico da produção e de retorno econômico, somente se manifesta se outros fatores não forem limitantes. Isso quer dizer que o adubo é parte de um “pacote tecnológico” completo, que vai desde a semente melhorada até o cuidado na colheita e no beneficiamento do produto, passando pelo preparo do solo, calagem, pela época de plantio e espaçamento, pelo controle de pragas e moléstias, para citar os principais (MALAVOLTA, 1987).

São relativamente comuns ensaios de adubação com níveis variados de nutrientes; entretanto, a interpretação correta desses experimentos exige o uso de equações de regressão, que permitam estimar a dose que propicia a produção máxima de uma determinada cultura. Mas esse conhecimento não é suficiente, pois a adubação mais conveniente não é a que oferece produção máxima, mas a que possibilita a receita líquida máxima. Assim sendo, o estudo econômico dos experimentos é essencial para evitar que sejam recomendadas práticas culturais economicamente ruins, pois o crescente aumento nos preços dos fertilizantes exige que os reflexos econômicos da adubação mineral, na condução dos cultivos, sejam revistos (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 1990).

O agricultor não usa insumos com o objetivo apenas de aumentar sua produtividade (produção por unidade de área). O agricultor usa e deve usar insumos a fim de aumentar o seu lucro, ou seja, a relação benefício/custo e em conformidade com práticas sustentáveis. Para isso, o que interessa não é a busca da produtividade máxima (PM), mas a produtividade máxima econômica (PME), isto é,

o nível de produtividade que proporciona o maior lucro. A PME se fundamenta na redução dos custos e no aumento da produtividade (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998).

Dentro de limites, há uma relação direta entre dose de adubo e produção. A dose do elemento que propicia a colheita econômica máxima é calculada pela equação de Mitscherlich, segundo Pimentel Gomes (1976) (Equação 1):

$$X^* = \left(\frac{1}{2}\right) X_u + \left(\frac{1}{c}\right) \log \frac{u \cdot P_y}{X_u \cdot P_x} \quad (1)$$

Em que, X^* = dose mais econômica do nutriente; X_u = dose empregada do nutriente que aumenta a produção em u , em kg; u = aumento da produção em relação à testemunha não adubada, em kg; c = parâmetro (coeficiente de eficácia); P_x = preço unitário do nutriente; P_y = preço unitário do produto.

Porém, também pode ser empregado o trinômio do 2° grau para representar a relação dose de adubo e colheita obtida (x/y) (RAIJ, 1991; MALAVOLTA, 2008) (Equação 2):

$$Y = B_0 + B_1 X - B_2 X^2 \quad (2)$$

Em que, Y = variável dependente; X = variável independente; B_0 = constante; B_1 e B_2 = coeficientes parciais de regressão.

No caso presente, a função é côncava, pois apresenta retornos decrescentes e negativos, atingindo um ponto máximo, que é consistente com o mundo real esperado para resposta ao uso de fertilizantes (ANTONIALLI, 1988). Por essas razões e pela facilidade de operação matemática que apresenta, é muito utilizada pelos pesquisadores.

No caso do trinômio do 2° grau (Equação 3), para calcular a dose mais econômica, faz-se a derivada igual a zero e iguala-se à relação preço unitário do nutriente e preço unitário do produto (P_x/P_y) (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 1990), ou seja:

$$\frac{d_y}{d_x} = B_1 - 2B_2X = \frac{P_x}{P_y} \quad (3)$$

Conforme Rajj (1991), a dose mais econômica pode, então, ser calculada pela Equação 4:

$$N' = \frac{B_1 - (P_x/P_y)}{2 (-B_2)} \quad (4)$$

Em que, N' = dose mais econômica do fertilizante nitrogenado, em kg ha^{-1} ; P_x = preço unitário do adubo; P_y = preço unitário do produto; B_1 = segundo termo da equação de segundo grau; B_2 = terceiro termo da equação de segundo grau.

Por último, mas não menos importante, é necessário frisar que a sustentabilidade de um empreendimento agrícola, independentemente da dimensão ou do propósito, será atingida apenas se sua gestão for capaz de administrar de maneira harmônica todos os fatores envolvidos no processo produtivo, dentro e fora da propriedade agrícola (GOEDERT; OLIVEIRA, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental, clima e solo

O experimento foi desenvolvido sob condições de campo, em uma pequena propriedade rural localizada na comunidade de Vila Nova, município de Toledo-PR, latitude 24°32'35" Sul, longitude 53°47'41" Oeste e altitude média de 375 m (Apêndice A), no período compreendido entre os meses de maio a outubro de 2018, totalizando 158 dias. A cultura implantada foi o cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), cultivar S-518.

O clima da região, conforme sistema Köppen-Geiger é do tipo Cfa, clima subtropical sem estação seca definida e com possibilidade de geadas durante o inverno. Conforme dados obtidos de registros públicos, no município de Toledo, a temperatura média é de 21 °C (NITSCHKE et al., 2019), a precipitação média anual é superior a 1.800 mm (INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ - AGUASPARANÁ, 2018) e a irradiação solar diária média é de 4,82 kWh m² dia⁻¹ (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO - CRESESB, 2017).

O registro da altura mensal das precipitações pluviométricas, que ocorreram nas proximidades da área experimental, desde o período de pré-plantio até a pós-colheita, assim como aqueles valores obtidos de série histórica, disponibilizado pela Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Precipitações pluviais (PP) registradas durante o ciclo de cultivo (2018) e média histórica (1975 a 2018) para cada mês, estação de Dois Irmãos. Toledo-PR, 2018

PP (mm)	Meses											
	Mai.*	Jun.*	Jul.*	Ago.*	Set.*	Out.*	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.
2018	51,8	82,6	2	120	237,2	244	181,1	79,8	303,2	309,6	298	46,5
Média 1975-2018	172,3	123	89,7	95,8	139,2	204,2	194,7	175,3	176,6	170,7	122	148,3

Nota: *Período de condução do experimento. **Fonte:** AGUASPARANÁ (2018).

Os dados climáticos, registrados durante condução do experimento, encontram-se na Figura 4. Observou-se, que o somatório das precipitações pluviométricas, para o período de 158 dias, foi de 683 mm. Conforme registro, o mês

de junho se destacou por apresentar a temperatura média mais baixa, cerca de 17 °C. Em contrapartida, o mês de outubro apresentou a temperatura média mais alta, cerca de 23 °C.

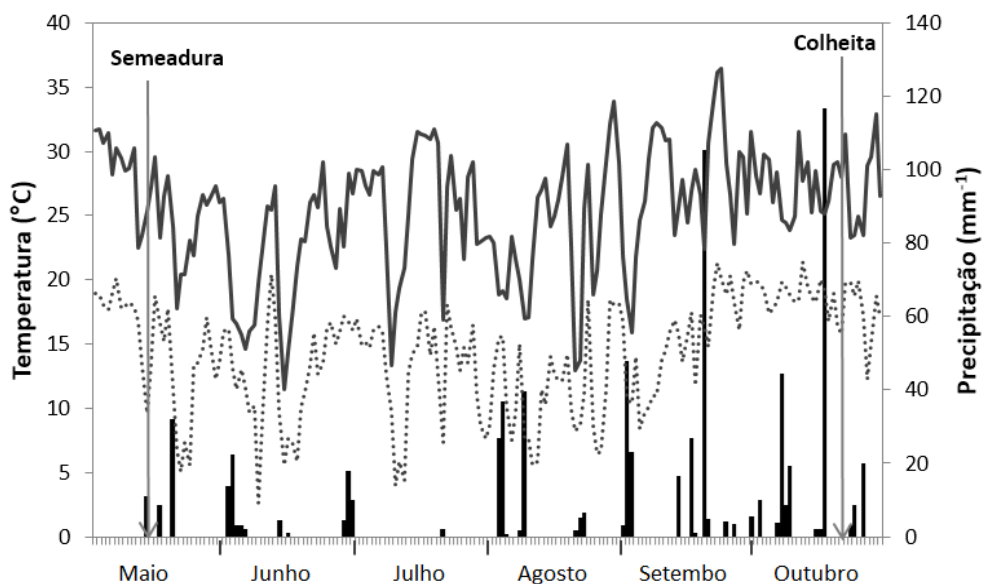


Figura 4 – Comportamento das variáveis meteorológicas de precipitação (■) e temperatura máxima (—) e mínima do ar (---) durante ciclo vegetativo de cultivo do cártamo de 15 de maio a 20 de outubro de 2018, em Toledo-PR.

Fonte: CLIMATEMPO (2018).

Os ensaios foram conduzidos em solo classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) (BHERING; SANTOS, 2008), sob substrato do tipo basalto e de relevo suave-ondulado (SANTOS et al., 2018a).

Para avaliação das características granulométricas e químicas do solo na área experimental (gleba homogênea de 630 m²), com auxílio de uma pá de corte, foram coletadas 15 subamostras, numa profundidade de 0 a 0,2 m, de forma aleatória e caminhamento ziguezague, em conformidade com as recomendações para coleta de amostras de solo da SBCS (2016). As subamostras foram misturadas e homogeneizadas de modo a formar uma única amostra composta de aproximadamente 0,5 kg. A amostra úmida permaneceu em local ventilado à sombra, sendo enviada para análise laboratorial a fração terra fina seca ao ar (TFSA). Os resultados da análise de solo encontram-se descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Atributos químicos do solo da área experimental, profundidade de 0 a 0,2 m. Toledo-PR, 2018

pH (CaCl ₂)	H + Al	Ca	Mg	SB	T	t	K	P ¹	M.O.	V
cmol _c dm ⁻³						- mg dm ⁻³		- g dm ⁻³		%
5,1	6,2	8,6	2,3	11,6	17,8	11,6	245,7	35,2	30,9	65,2

Nota: SB = soma de bases, k + Ca + Mg; T = CTC_{pH 7,0}; t = CTC_{efetiva}; V = saturação por bases.
¹Extrator Mehlich-1. **Fonte:** SOLANALISE (2018).

Na análise granulométrica feita pelo método do densímetro (DONAGEMMA et al., 2017), detectou-se: 200 g kg⁻¹ de areia, 187,5 g kg⁻¹ de silte e 612,5 g kg⁻¹ da fração argila, ou seja, uma classe textural muito argilosa (SANTOS et al., 2015).

Cabe ressaltar que a análise de solo tem pouca utilidade, até o momento, para ajudar a definir a adubação nitrogenada. Cerca de 95% ou mais do N do solo faz parte da matéria orgânica, que constitui o grande reservatório desse nutriente. No entanto, a capacidade do solo de fornecer N às plantas depende da mineralização do N orgânico, função de fatores climáticos, de difícil previsão e controle (RAIJ et al., 1997).

Em contrapartida, o diagnóstico da fertilidade do solo pela análise de rotina serve de importante ferramenta à avaliação das condições químicas e físicas que, por sua vez, influem na disponibilidade e assimilação do N pelas plantas, que tanto baliza os estudos de adubação.

3.2 Implantação e condução do experimento

O cultivo foi realizado com uma semeadora/adubadora Imasa, modelo 908, com 7 linhas, espaçamento de 0,45 m entre linhas, fabricada pela Indústria de Máquinas Agrícolas Fuchs S.A., no sistema de cultivo mínimo (preparo reduzido), em solo cultivado, anteriormente, com soja [*Glycine max* (L.) Merrill].

Antes da implantação do experimento, as sementes de cártamo foram tratadas com produto inseticida Cropstar® [Imidacloprido (Neonicotinóide) + Tiodicarbe (Carbamato)], dosagem de 2,4 L p.c./100 kg de sementes.

A semeadura mecanizada ocorreu no dia 15 de maio de 2018, estação de outono para o hemisfério Sul, com cultivar de cártamo S-518, de tal forma que, para cada tratamento e repetição, obteve-se uma parcela de 10 m de comprimento e sete

linhas de semeadura, perfazendo uma área de 31,5 m² para cada parcela do tratamento.

Na ocasião, as sementes foram depositadas numa profundidade de 4 a 5 cm, conforme recomendações de Galant (2017). Estande com densidade de 20 sementes aptas por metro linear, ou seja, uma população de cerca de 440.000 plantas ha⁻¹.

3.2.1 Adubação

A adubação nos cultivos de cártamo é uma prática necessária. Todavia, como em qualquer cultivo, para o diagnóstico da fertilidade do solo, determinação da necessidade de corretivo e fertilizante a aplicar, levou-se em consideração a análise de solo, prática realizada antes mesmo da semeadura (Tabela 4).

Em conjunto da operação de plantio, foi realizada adubação de base com fertilizante mineral misto N-P₂O₅-K₂O (10-15-15), na dose de 300 kg ha⁻¹, equivalente a 30 kg ha⁻¹ de N, 19,8 kg ha⁻¹ de P e 37,3 kg ha⁻¹ de K.

Para adubação de cobertura, empregou-se fertilizante mineral nitrogenado, incorporado, manualmente, aproximadamente 10 cm das linhas de cártamo, 30 dias após a emergência das plantas (DAE), pela manhã (temperaturas baixas) e com o solo úmido, conforme recomendações, para outras culturas, de Luz, Ferreira e Bezerra (2003) e Brady e Weil (2013) (Figura 5).

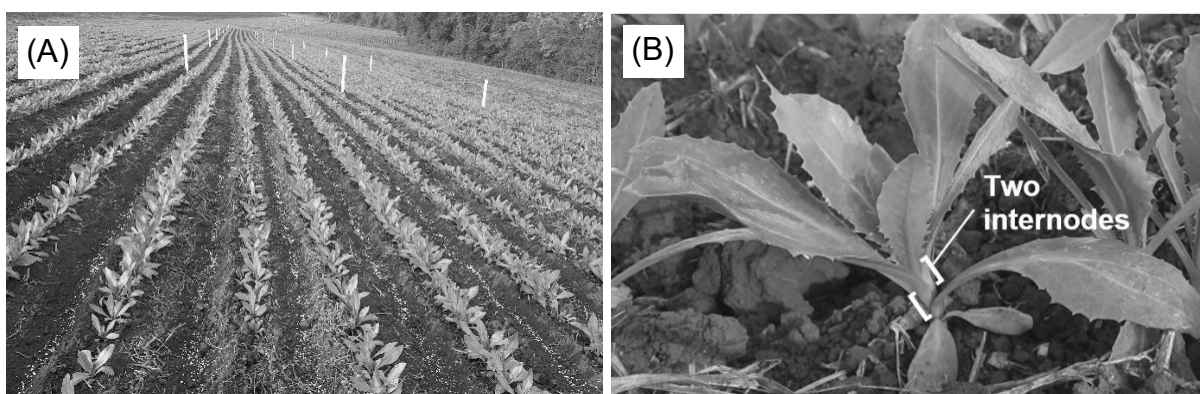


Figura 5 – (A) Adubo nitrogenado distribuído em sulcos previamente abertos. (B) Plantas em estágio de roseta, 30 dias após emergência.

3.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 parcelas.

Os tratamentos consistiram no uso de cinco diferentes quantidades de nitrogênio, em adição à adubação de semeadura, na forma comercial de ureia (45% N), aplicados em cobertura: T₁ - 0 kg ha⁻¹ de N (testemunha); T₂ - 50 kg ha⁻¹ de N; T₃ - 100 kg ha⁻¹ de N; T₄ - 150 kg ha⁻¹ de N; e T₅ - 200 kg ha⁻¹ de N.

3.2.3 Tratos culturais

Para diminuir a competição com plantas daninhas, optou-se pelo método de controle mecânico por capina manual, em área total e buscando evitar revolvimentos bruscos de solo nas proximidades das linhas de cultivo, cerca de 60 dias após emergência do cártamo (SILVA et al., 2018).

Quando do término da operação de capina, antes do estágio de florescimento (75 DAE), realizou-se pulverização preventiva de fungicida sistêmico, com auxílio de equipamento costal, buscando evitar o aparecimento de doença foliar do tipo *Alternaria* (*Alternaria carthami* Chow), na combinação dos produtos comerciais: Piori Xtra® [Azoxistrobina (Estrobilurina) + Ciproconazol (Triazol)] 0,3 L p.c. ha⁻¹ + Unizeb Gold® [Mancozebe (Alquilenobis)] 1,5 kg p.c. ha⁻¹ + óleo mineral Nimbus® na dosagem de 0,6 L p.c. ha⁻¹ para evitar riscos de evaporação durante aplicação e auxiliar a absorção dos produtos como adjuvante. Dose empregada para um volume total de calda de 200 L ha⁻¹. Amostragens realizadas durante condução dos experimentos não indicaram danos significativos pelo ataque de insetos.

3.3 Avaliação das características agronômicas

Para verificar o efeito dos distintos tratamentos empregados, foram avaliadas as seguintes variáveis:

3.3.1 Variáveis fenotípicas

Determinada, quando 50% da área útil das parcelas já estava representada por plantas em pleno florescimento, 121 dias após emergência. Dentro de cada parcela, foram selecionadas seis plantas ao acaso e as seguintes características fenotípicas avaliadas:

- a) Altura de planta (H): foram mensurados a partir do nível do solo até o ápice da planta, com auxílio de fita métrica, valores expressos em centímetros (cm);
- b) Diâmetro de caule (DC): com auxílio de um paquímetro digital, mediu-se a região basal do caule (ao nível do solo), sendo a medida fornecida em milímetros (mm);
- c) Massa seca da parte aérea (MSPA): Para as determinações, efetuou-se a separação da parte aérea e radicular das plantas, junto ao nível do solo e com auxílio de tesoura de poda. Na sequência, foram acondicionadas em sacos de papel Kraft, devidamente identificados e submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, até peso constante. A pesagem foi realizada com auxílio de balança eletrônica semianalítica, com divisão de 0,01 g. Os valores médios de MSPA foram corrigidos para uma população de 440.000 plantas ha⁻¹, sendo expresso em toneladas por hectare (t ha⁻¹);
- d) Número de ramificações (NR) e capítulos florais (CF) por planta: foi determinado, contando o número de ramificações primárias, secundárias e terciárias a partir da haste principal da planta, considerando o número total de capítulos florais por planta. Valor absoluto sem exprimir qualquer tipo de unidade.

3.3.2 Variáveis produtivas e qualitativas de grãos

Quando do encerramento do ciclo da cultura, 151 dias após emergência, foi realizada a colheita manual em seis metros lineares da área útil de cada parcela, desprezando as áreas de bordadura. Na ocasião, foram avaliadas as seguintes características:

- a) Rendimento de grãos de cártamo (RG): inicialmente, registrou-se o número de plantas na aérea útil da parcela; posteriormente, os capítulos foram colhidos manualmente e colocados para secar ao sol; em seguida, passaram por debulha e limpeza manual. Os aquênios foram devidamente identificados e permaneceram em estufa, a 105 ± 3 °C, por 24 horas. A massa de grãos foi determinada em balança analítica, com divisão de 0,0001 g; após, ajustada para 11% de umidade. Os valores médios para RG foram corrigidos para uma população de 440.000 plantas ha⁻¹, usando a Equação 5, proposta por Zuber (1942):

$$Z_{ij} = Y_{ij} [H - 0,3 (H - X_{ij})] / X_{ij} \quad (5)$$

Em que, Z_{ij} = produtividade corrigida, em kg ha⁻¹; Y_{ij} = rendimento observado nas parcelas, cujo estande é de X_{ij} plantas; e H = estande ideal. Esse ajustamento acrescenta 70% do rendimento médio por planta, para cada falha, e considera que os 30% restantes são recuperados pelas plantas que não falharam;

- b) Massa de mil grãos (MMG): determinou-se a massa de mil grãos em oito repetições de 100 aquênios, provenientes do volume colhido de cada parcela. As oito amostras de cada parcela foram devidamente identificadas e permaneceram em estufa, a 105 ± 3 °C, por 24 horas. A massa de aquênios foi determinada em balança analítica, com divisão de 0,0001 g e, posteriormente, ajustada para 11% de umidade. A massa de mil grãos foi determinada conforme Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009);
- c) Composição química dos grãos: quantidade representativa de grãos, obtida em cada tratamento; foram triturados em moinho de facas e peneirados em malha de 30 “mesh”. Realizaram-se as análises no laboratório de água e alimentos da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDETEC). O teor de umidade das amostras foi estabelecido, conforme método gravimétrico, a 105 °C. Os teores de proteína total foram obtidos pelo método Micro-Kjeldahl, com fator de conversão do nitrogênio total de 6,25. Os lipídios totais foram analisados por extração Soxhlet, utilizando como solvente o Hexano P.A. A fibra bruta foi obtida em solução ácida e posterior incineração em mufla, a 550 °C. Todas as análises foram

realizadas segundo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz – IAL (2008).

3.3.3 Dose mais econômica de N-ureia

Dos dados quantitativos de rendimento de grãos de cártamo, em função do fertilizante nitrogenado aplicado, buscou-se ajustar curva de resposta por meio de trinômio de segundo grau. Da derivada do polinômio gerado, obteve-se a Equação 4, utilizada para definir a dose mais econômica de nitrogênio, conforme Rajj (1991).

A dose mais econômica corresponde à quantidade de N, acima da qual o valor do aumento no rendimento de grãos não mais supera o custo desse fertilizante. Para efeito de cálculo, utilizou-se a relação de equivalência ($P_x/P_y = 2,41$), dividindo-se o preço do quilograma do nutriente N (P_x) pelo preço do quilograma de aquênios de cártamo (P_y), a fim de se obter um valor absoluto, sem exprimir qualquer tipo de unidade. Portanto, assume-se a chamada relação de troca ao invés de moeda corrente.

Os dados mensais dos preços da ureia, entre janeiro e dezembro de 2018, foram obtidos com base no Instituto de Economia Agrícola - IEA (2018) da Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo (Anexo A), sendo considerado o valor médio praticado no período. Os de cártamo foram obtidos de série histórica, disponibilizada pelo *National Agricultural Statistics Service* (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, 2018), com base no relatório *Crop Values*, sendo considerado, como preço de mercado, para os aquênios de cártamo, a média obtida entre os anos de 2014 a 2018 (Anexo B), já convertida para a moeda brasileira.

3.4 Análise estatística

Os dados levantados foram submetidos às pressuposições do modelo estatístico (Equação 6) (DEVORE, 2006), como o teste de Bartlett, para a homogeneidade das variâncias, e o teste de Shapiro-Wilk, para normalidade:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij} \quad (6)$$

Em que: Y_{ij} é a variável resposta coletada sob o i -ésimo tratamento no bloco j ; μ é a média geral; T_i é o efeito do i -ésimo tratamento; β_j é o efeito do j -ésimo bloco; e_{ij} é o erro associado à observação Y_{ij} .

Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com aplicação do Teste F a 5% de probabilidade. Em conjunto, ajustaram-se equações de regressão para as médias das variáveis quantitativas, considerando apenas o efeito linear ou quadrático.

Para as variáveis rendimento de grãos, teor de proteína, óleo e fibras, foram realizadas análises de correlação linear com aplicação do Teste t a 5% de significância. As correlações significativas foram submetidas à classificação de Hopkins (2016): $0,0 < r \leq 0,1$ (muito baixa); $0,1 < r \leq 0,3$ (baixa); $0,3 < r \leq 0,5$ (moderada); $0,5 < r \leq 0,7$ (alta); $0,7 < r \leq 0,9$ (muito alta); e $0,9 < r \leq 1,0$ (extremamente alta).

Análises foram realizadas, utilizando os procedimentos estatísticos disponíveis no *software* SISVAR® 5.6 (FERREIRA, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis fenotípicas

Os resultados obtidos pela análise de variância demonstram que a aplicação de N-ureia em cobertura não influenciou significativamente a variável altura de planta (H). Isso indica que não houve resposta das plantas de cártamo aos tratamentos empregados, conforme procedimentos utilizados neste estudo.

Contudo, houve diferença estatística ao nível de 5% de significância para as variáveis fenotípicas: diâmetro de caule (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), número de ramos (NR) e capítulos florais (CF). Logo, houve efeito dos tratamentos nas variáveis supracitadas e, por consequência, no desenvolvimento das plantas de cártamo (Tabela 5).

Tabela 5 – Teste F e valores médios fenotípicos de cártamo, em função das diferentes quantidades de N-ureia, aplicadas em cobertura. Toledo-PR, 2018

Tratamentos kg ha ⁻¹ de N	Variáveis				
	H cm	DC mm	MSPA t ha ⁻¹	NR n planta ⁻¹	CF n planta ⁻¹
0	121,10	8,31	11,99	10,50	7,00
50	119,52	8,52	15,26	14,75	9,25
100	125,50	8,52	14,81	14,50	9,75
150	123,82	9,55	18,31	17,00	11,50
200	123,55	9,01	16,64	15,50	11,00
F	0,47 ns	3,43*	5,63**	8,47**	11,37**
CV (%)	5,61	6,18	12,83	11,48	10,78

Nota: ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade, ($P < 0,01$); * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, ($0,01 \leq P < 0,05$); ns = não significativo, ($0,05 \leq P$); CV = coeficiente de variação; H = altura de planta; DC = diâmetro de caule; MSPA = massa seca da parte aérea; NR = número de ramificações por planta⁻¹; CF = número de capítulos florais por planta⁻¹.

Segundo Pimentel Gomes (1987), tendo em vista os coeficientes de variação comumente obtidos nos experimentos de campo, pode ser considerado baixo, se inferior a 10%; médios, quando de 10 a 20%; e altos, quando superior a 20%. Contudo, para os ensaios, o CV variou de 5,6% para H a 12,8% para variável MSPA, ou seja, na classificação proposta, mostrou-se de baixo a médio.

O comportamento das variáveis altura de planta (H), diâmetro de caule (DC) e massa seca da parte aérea (MSPA), em função da aplicação de nitrogênio em

cobertura, foi verificado a partir da análise de regressão obtida para os valores médios, conforme Figura 6.

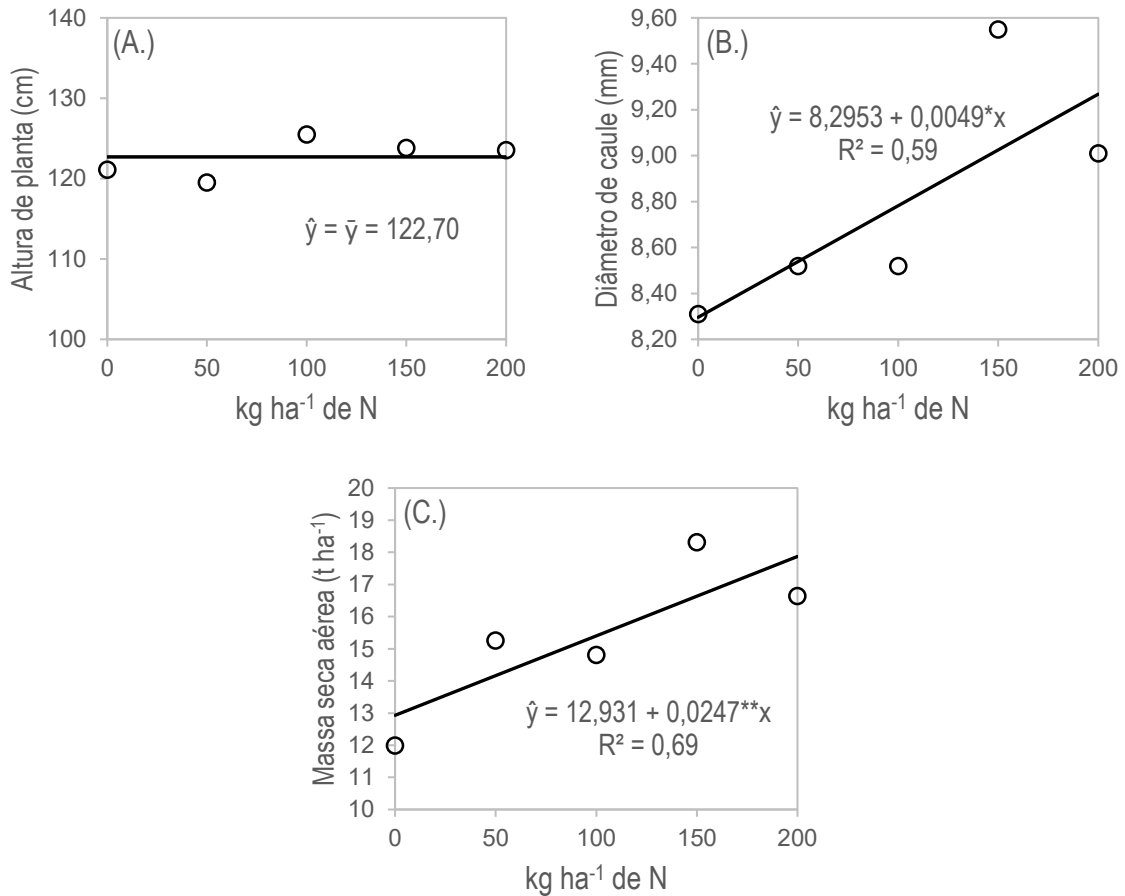


Figura 6 – Gráficos com retas ajustadas aos dados do experimento de adubação, com cinco níveis de N-ureia, aplicadas em cobertura, em função das variáveis: (A) altura de planta, em cm; (B) diâmetro de caule, em mm; e (C) massa seca da parte aérea, em t ha⁻¹. Toledo-PR, 2018.

Nota: ** significativo ao nível de 1% e * 5% de probabilidade.

A variável H não foi influenciada significativamente pelos tratamentos (Figura 6A). Uma possível explicação para esse fato é a rotação de culturas com emprego de plantas leguminosas, como a soja, o que tende a corroborar com o processo de fixação biológica do nitrogênio, realizada por bactérias do gênero *Rhizobium* (STEINER et al., 2018); assim, juntamente com a adubação de base, como adotado neste estudo, possivelmente, contribuiu com maior aporte de N ao solo.

Em estudo semelhante, porém, em plantas de canola (*Brassica napus* L.), Werner (2012) avaliou a influência de distintas doses de nitrogênio em cobertura até

75 kg ha⁻¹. Contudo, também não constatou efeito significativo sobre a variável altura de planta.

Para Taiz et al. (2017), o nitrogênio serve como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos e ácidos nucleicos, portanto, a deficiência de nitrogênio rapidamente inibe o crescimento vegetativo. Porém, conforme Figura 6A, as plantas que não receberam a adubação nitrogenada em cobertura, apresentaram altura semelhante àquelas que receberam os tratamentos, indicando um suprimento adequado de nitrogênio pelo solo.

Ao avaliarem o efeito de doses crescentes de N até 600 kg ha⁻¹, sob condição de irrigação e sequeiro, na região de Engenheiro Coelho, SP, Santos et al. (2018b) constataram efeito significativo sobre a variável altura da parte aérea de plantas de cártamo. No tratamento com 300 kg ha⁻¹ de N, independentemente do regime hídrico, as plantas apresentaram maior altura, cerca de 122 cm sob irrigação e 105 cm em condição de sequeiro; portanto, semelhante aos 122 cm registrados em nossa pesquisa.

O teor de matéria orgânica no solo da área experimental, considerado alto (Tabela 4), também pode ser utilizado para indicar maior disponibilidade de nitrogênio a cultura, reduzindo, assim, o efeito dos tratamentos. A matéria orgânica desempenha funções de relevante importância no solo, pois possibilita melhoria de estrutura e aeração, retenção de umidade, incorporação de nutrientes, como nitrogênio, enxofre e outros, além do aumento no tamponamento do solo (BARROS et al., 2011).

Zandonadi et al. (2014) acrescentam que os compostos orgânicos aumentam a eficiência do uso de nutrientes por ativar enzimas que estimulam a absorção e a quelação de alguns elementos, fornecem moléculas orgânicas promotoras do crescimento vegetal e modificam positivamente as características físico-químicas da maioria dos solos.

O histórico de uso do solo, certamente, é um fator que influencia a resposta das culturas ao nitrogênio. Menores respostas são esperadas em solos cultivados há pouco tempo, ou que voltaram a ser cultivados após período de pousio ou como pastagem. Também, cultivos anteriores com leguminosas, como no caso presente, reduzem as respostas ao nitrogênio (RAIJ, 1991; ZUFFO et al., 2019).

O comportamento das variáveis, diâmetro de caule (DC) e massa seca da parte aérea (MSPA) foram verificados a partir da análise de regressão (Figura 6B e

C). Nesse caso, constatou-se crescimento linear ao passo que não se comprovou o efeito quadrático.

Juntamente com as retas, seguem equações de regressão devidamente ajustadas, isto é, a equação aproximada que liga os níveis de “x” (kg ha^{-1} de N), aos níveis de “y” (DC e MSPA). Doravante, para as Figuras 6B e C, os coeficientes de “x” (+0,0049 e +0,0247) mostraram-se positivos, ou seja, a produtividade de biomassa seca e o diâmetro de caule apresentaram incremento com os níveis ascendentes de nitrogênio.

No caso presente, para cada quilograma de N aplicado em cobertura, dentro do intervalo experimental considerado, constatou-se que a produtividade de biomassa seca da parte aérea (MSPA) de cártamo cresceu em média $0,0247 \text{ t ha}^{-1}$ ($\sim 25 \text{ kg ha}^{-1}$). Portanto, comprovando a importância do N no desenvolvimento vegetativo das plantas, conforme já relatado por Marschner (1995).

Zanão Júnior et al. (2017), na região oeste do estado do Paraná, avaliaram 18 genótipos de cártamo, submetidos à adubação nitrogenada em cobertura na dose de 60 kg ha^{-1} de N e 66 kg ha^{-1} de S (sulfato de amônio). Na ocasião, a produção de massa seca da parte aérea variou de 7,1 a $11,8 \text{ t ha}^{-1}$, com média geral de $9,1 \text{ t ha}^{-1}$. Para Silva (2013), tal característica é importante nos programas de melhoramento genético, especialmente, na seleção de genótipos para alimentação animal na forma de forragem.

Segundo Lobo, Grassi Filho e Coelho (2012), a produtividade média de matéria seca é um parâmetro importante, pois reflete a quantidade de biomassa vegetal que pode retornar ao solo, depois de colhidos os grãos, o que pode resultar em benefício às culturas seguintes, como maior retenção de umidade e melhor disponibilidade temporal de nutrientes no solo, visto que a decomposição das folhas e dos capítulos é rápida, por apresentar baixa relação C/N, acontecendo o inverso com o caule. Portanto, a mesma planta tem partes que se decompõem rapidamente, proporcionando o fornecimento de N à cultura subsequente e partes com decomposição mais lenta, ficando por mais tempo sobre o solo, favorecendo a retenção de umidade pela redução da evaporação direta, através da superfície do solo. Com isso, evita-se o aquecimento do solo e preservam-se os microrganismos benéficos, como os fungos micorrízicos e as bactérias fixadoras de N.

Guidorizzi (2016), ao estudar a produtividade de genótipos de cártamo, em função da adubação nitrogenada no sistema plantio direto, constatou que a

quantidade de massa de matéria seca, acumulada no caule, aumentou até o período de 84 e 111 DAE (florescimento e enchimento de grãos), seguido de diminuição.

Acrescenta que essa diminuição ocorre especialmente em função do florescimento, que altera a relação fonte/dreno do cártamo, ou seja, o dreno principal da cultura passa ser as estruturas reprodutivas. Contudo, segundo o pesquisador, adubação nitrogenada em cobertura na dose de 100 kg ha⁻¹ de N aumentou o acúmulo de massa seca do caule de ambos os genótipos de cártamo avaliados, independentemente do tempo em que o solo estava sendo manejado sob sistema plantio direto.

Alguns trabalhos internacionais também demonstram resposta das plantas cártamo à adubação nitrogenada em cobertura, como os estudos desenvolvidos por Golzarfar et al. (2012), no Irã, ao avaliarem duas épocas de plantio (outono e inverno) e três doses de nitrogênio (0, 75 e 150 kg ha⁻¹), em que constataram que, na dose de 150 kg ha⁻¹ de N, obtiveram-se os maiores rendimentos de biomassa de cártamo.

Da mesma forma, na equação de regressão ajustada (Figura 6B), nota-se que o coeficiente “x” (+0,0049), positivo, apresentou incremento com os níveis ascendentes de N, dentro do intervalo considerado, ou seja, até o limite de 200 kg ha⁻¹ de N.

As doses mais elevadas de nitrogênio proporcionaram maior incremento no caule das plantas, quando comparado à testemunha. Porém, na dose de 150 kg ha⁻¹ de N, constatou-se maior diâmetro médio de caule, cerca de 15% superior àquele registrado no tratamento sem adubação nitrogenada em cobertura. Comprovando a importância do N sobre o desenvolvimento vegetativo.

Para Ferreira (2016), o diâmetro de caule é uma característica importante na cultura do cártamo, pois um caule de maior diâmetro e rígido proporciona à cultura disposição mais ereta, com maior resistência ao acamamento, aos ventos fortes, facilitando seu manejo, tratos culturais e colheita.

Além disso, é considerado um importante parâmetro para avaliação de qualidade, por meio da rigidez que apresenta, principalmente, quando o cultivo se destina para fins ornamentais, em arranjos florais ou de decoração. Contudo, outros elementos minerais, além do nitrogênio, são igualmente importantes para oferecer rigidez aos tecidos vegetais, a exemplo do cálcio - elemento principal da lamela média da parede celular, na forma de pectato. Por isso, além do nitrogênio, de

notável importância sobre o crescimento vegetativo, deve-se considerar a disponibilidade de cálcio à cultura, elemento que tem importante relação com a resistência mecânica dos tecidos (BELLOTE; FERREIRA; SILVA, 2008).

Em pesquisa desenvolvida por Magalhães (2017), ao avaliar o efeito de doses crescentes de nitrogênio sobre o diâmetro de caule de cártamo (até a dose de 200 mg dm⁻³), não se constatou diferença significativa, obtendo médias de 2,03 e 1,70 mm, para avaliações realizadas aos 60 e 90 dias após plantio, respectivamente. Porém, a metodologia consistiu no emprego da média obtida de três medições ao longo do caule (base, meio e ápice), o que justifica os baixos valores apresentados no trabalho.

Em contrapartida, ao avaliar a influência da adubação nitrogenada sobre as características biométricas de cártamo, Anicésio et al. (2018) constataram efeito quadrático, com maior diâmetro de caule registrado nas taxas de 106 mg dm⁻³ aos 55 DAE (6,6 mm) e 87 mg dm⁻³ aos 74 DAE (6,21 mm). Para os autores, o menor diâmetro de caule, registrado na segunda avaliação, é justificável, uma vez que as plantas encontravam-se no final do estágio de floração, assim, iniciando o processo de translocação de reservas de carboidrato da haste principal para os capítulos. Conforme Dordas e Sioulas (2009), as reservas do caule podem ser utilizadas na formação de grãos.

Por sua vez, Lima et al. (2006) avaliaram o efeito de cinco doses de N na forma amoniacal em cobertura (0, 80, 160 e 240 kg ha⁻¹), sobre o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. Constataram que o nitrogênio promoveu decréscimo linear significativo na precocidade das plantas e aumentou o crescimento (altura de planta, diâmetro do caule e área foliar).

Doravante, para as variáveis número de ramificações (NR) e capítulos florais (CF), também avaliadas nesta pesquisa, verificou-se, pois, efeito quadrático da adubação nitrogenada em cobertura, conforme equações de regressão (Figura 7).

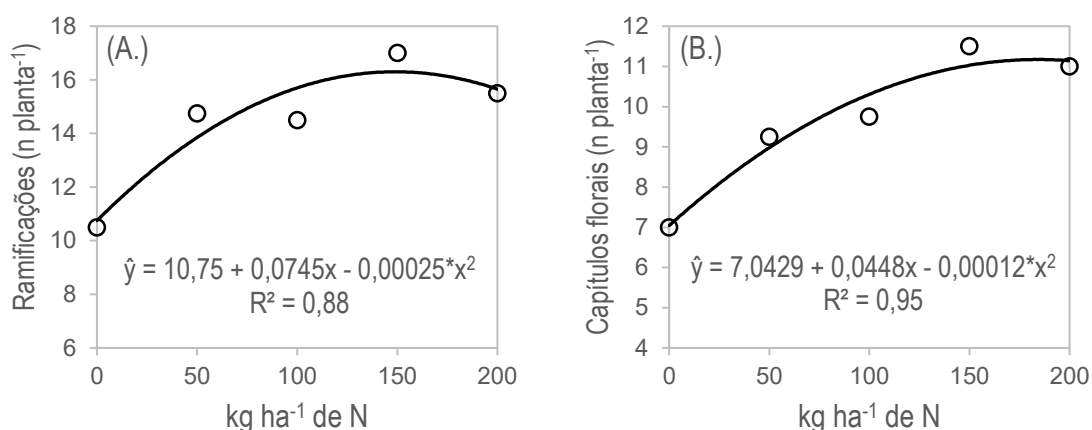


Figura 7 – Gráficos com equação de segundo grau ajustada aos dados do experimento de adubação, com cinco níveis de N-ureia, aplicadas em cobertura, sobre as variáveis: (A) número de ramificações por planta⁻¹, e (B) número de capítulos florais por planta⁻¹. Toledo-PR, 2018.

Nota: * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para a variável número de ramificações (Figura 7A), a curva parabólica atingiu o valor máximo ($a < 0$) da função quadrática, quando da aplicação do N em cobertura na dose de 149 kg ha⁻¹ de N e que corresponde ao vértice (149;16). Nessa dose, constatou-se um número médio de 16 ramos por planta, já considerando a totalidade de ramos primários, secundários e terciários. Em contrapartida, doses superiores influenciaram negativamente, possivelmente, pelo efeito depressivo do N, nesse caso, considerado em excesso.

A densidade de plantas, além de um bom suprimento nutricional, é um dos fatores de grande importância para a obtenção de uma boa produtividade, pois um estande de plantas maior ao ideal pode resultar em competição entre plantas pelos recursos do ambiente, portanto, influenciando seu desenvolvimento (BELLÉ et al., 2012; SAMPAIO et al., 2016).

Contudo, um maior espaçamento entre plantas aumenta o número de ramificações das hastes e, conseqüentemente, o número de flores e sementes. O cártamo pode compensar a baixa emergência com ramificações, capítulos e sementes extras, desde que as falhas sejam eventuais e menores que 0,5 m, assim, a redução de rendimento não será significativa (MÜNDEL et al., 2004).

Já para variável número de capítulos florais (Figura 7B), a curva atingiu o ponto máximo ($a < 0$) da função quadrática no vértice (185;11). Portanto, indicando que a maior produção (11) foi verificada na dose de 185 kg ha⁻¹ de N (máximo

global). Em contrapartida, no tratamento sem adubação nitrogenada em cobertura, verificaram-se plantas com menor número de capítulos florais (7).

Conforme Anicésio et al. (2018), o número de capítulos por planta é um dos componentes de rendimento mais importantes, pois está diretamente relacionado com a produção final de grãos. O incremento, obtido na produção de capítulos florais, quando da comparação do tratamento testemunha e a dose de 185 kg ha⁻¹ de N, pode ser atribuído ao maior crescimento vegetativo, com maior emissão de ramos pelas plantas, conforme Figura 7A, refletindo positivamente na frutificação.

A produção de capítulos florais é fortemente relacionada ao número de ramificações e esta, por sua vez, pela densidade de plantas, conforme Figura 2. Para Kaffka e Kearney (1998), as ramificações surgem da haste principal quando a planta mede de 20,5 a 38 cm de altura. Cada ramo primário se ramifica para formar de 1 a 5 (ou mais) capítulos. Porém, espaçamento amplo entre plantas ou mesmo datas de plantio precoce aumentam o número de ramificações, formações de brotos e, conseqüentemente, o número de capítulos florais.

Contudo, doses superiores ao máximo global (185 kg ha⁻¹ de N) influenciaram negativamente, acarretando diminuição no número médio de capítulos nas plantas de cártamo. Conforme Malavolta et al. (1974), o nitrogênio em excesso favorece o crescimento vegetativo em detrimento da produção de frutos.

Guidorizzi (2016), ao avaliar a influência da adubação nitrogenada em cobertura (0 e 100 kg ha⁻¹ de N), sobre a variável número de capítulos por planta, não constatou efeito significativo dos tratamentos. Justifica, que o cultivo de soja, como cultura antecessora ao cártamo, foi determinante para obtenção desse resultado, pois a sua baixa relação C/N (30/1), conforme Borghi e Resende (2015), possibilitou a disponibilização à cultura do cártamo de quantidade suficiente de N para a obtenção de elevadas produtividades. Conclui que a ausência de resposta dos genótipos, à adubação nitrogenada de cobertura, em sistema plantio direto, deve-se ao maior teor de N no solo (antes da adubação de cobertura).

Durante o ciclo de uma cultura, é bastante importante o balanço entre N mineralizado a partir da matéria orgânica e N imobilizado, cuja diferença representa o N disponível. Essa disponibilidade é afetada pelos resíduos orgânicos de culturas anteriores, pela sua relação C/N, da matéria orgânica do solo e por fatores que interferem na mineralização, como: pH, aeração, umidade e temperatura do solo (PARRA; CHAVES; MUZILLI, 1982).

Porém, o adequado suprimento de N é importante para o desempenho das culturas. Ao avaliar duas doses de ureia (0 e 50 kg ha⁻¹), aplicadas em cobertura, Galant et al. (2016) constataram que, sem adubação, os capítulos apresentaram um peso médio de 6,8 g e, com adubação, 15,3 g, concluindo que o cártamo responde muito bem ao fornecimento de nitrogênio.

Anicésio et al. (2018), em Latossolo Vermelho, também verificaram relação positiva entre adubação nitrogenada e número de capítulos por planta de cártamo. A maior produção de capítulos (22) foi observada na dose de 137 mg dm⁻³ de N; número mínimo de capítulos (18) foi registrado para o tratamento testemunha sem adubação.

4.2 Variáveis produtivas e qualitativas de grãos

Os resultados obtidos pela análise de variância demonstram que a aplicação de N-ureia em cobertura não afetou significativamente as variáveis, massa de mil grãos (MMG) e teor de proteína nos grãos (TPG). Contudo, houve diferença estatística a nível de 5% de significância para as variáveis: rendimento de grãos (RG), teor de óleo (TOG) e fibra bruta dos grãos (TFG). Logo, houve efeito dos tratamentos nas variáveis supracitadas e, por consequência, nas características produtivas e qualitativas de grãos (Tabela 6).

Tabela 6 – Teste F e valores médios produtivos e qualitativos de grãos de cártamo, em função das diferentes quantidades de N-ureia, aplicadas em cobertura. Toledo-PR, 2018

Tratamentos kg ha ⁻¹ de N	Variáveis				
	MMG g	RG kg ha ⁻¹	TOG %	TPG %	TFG %
0	15,46	114,82	15,38	25,10	6,85
50	17,12	514,98	17,48	26,42	7,19
100	16,88	437,14	15,22	30,54	6,22
150	16,18	477,71	16,87	28,75	6,42
200	15,66	375,55	18,76	28,36	6,87
F	0,44 ns	3,36*	33,50**	2,30 ns	3,17*
CV (%)	13,50	45,23	3,06	10,01	6,50

Nota: ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade, (P<0,01); * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, (0,01≤P<0,05); ns = não significativo, (0,05≤P); CV = coeficiente de variação; MMG = massa de mil grãos a 11% de umidade; RG = rendimento de grãos; TOG = teor de óleo nos grãos; TPG = teor de proteína nos grãos; TFG = teor de fibra nos grãos; Teor de óleo, proteína e fibras em base seca.

A massa de mil grãos não foi significativamente alterada com as doses de N, conforme procedimentos utilizados nesta pesquisa, tendo obtido, em média, 16,2 g (Figura 8), valor abaixo daquele comumente registrado em outras pesquisas (ABUD et al., 2010; HALILOGLU; BYYAVAS, 2019).

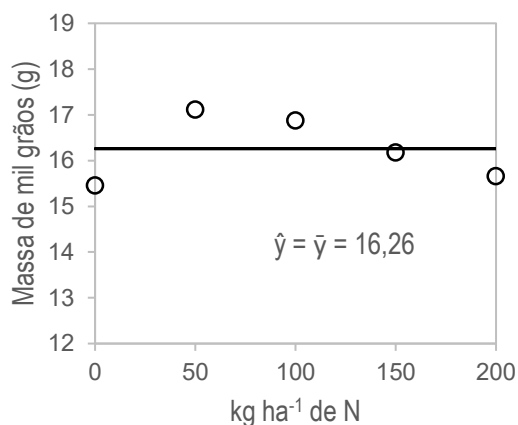


Figura 8 – Diferentes quantidades de N-ureia (kg ha⁻¹), aplicadas em cobertura, em função da variável massa de mil grãos (g). Toledo-PR, 2018.

A massa de mil grãos é uma variável importante, já que, conforme Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), propicia ideia do tamanho das sementes, assim como de seu estado de maturidade e de sanidade.

O baixo valor encontrado foi atribuído, provavelmente, à precipitação pluvial registrada durante cultivo, especialmente, entre os estádios de floração e maturação fisiológica (agosto a outubro), conforme Figura 4. Tal condição favorece o surgimento de sementes malformadas, menos densas e com material de reserva reduzido, além de comprometer seriamente a produtividade.

Ao avaliarem o efeito da aplicação de adubo nitrogenado (até a dose de 150 kg ha⁻¹) e do micronutriente zinco (até a dose de 30 kg ha⁻¹), em condições semiáridas na Turquia, Haliloglu e Byyavas (2019) constataram efeito significativo sobre a massa de mil grãos, com valor médio de 29 g. Porém, ponderam a possibilidade de haver diferenças, especialmente, quando há comparação entre distintos anos de cultivo, atribuindo tal efeito a fatores de ordem climática e de solo.

Para aquênios de cártamo com teor de umidade de 8,6%, Abud et al. (2010) constataram valor médio para massa de mil grãos de 33 g. Acrescentam que um quilograma de grãos de cártamo contém, aproximadamente, 29.629 sementes. Segundo Dajue e Mundel (1996), o peso dos grãos de cártamo pode variar entre

0,030 a 0,045 g. Para ambas as situações, os valores encontrados foram superiores àqueles da Figura 8.

Todavia, ao avaliar o efeito de doses de adubo nitrogenado (0, 40 e 80 kg ha⁻¹), em três variedades de cártamo (Gila, CW-74 e Sironaria), Strasil e Vorlicek (2002) não constataram efeito significativo sobre a variável massa de mil grãos, corroborando com os resultados encontrados em nosso estudo.

No período de pós-maturação, pré-colheita, quando o suprimento de água não é mais necessário, chuvas frequentes, seguidas por estiagem com altas temperaturas, causam deterioração das sementes, além de favorecer o ataque direto de pragas e doenças. Portanto, pouca ou nenhuma chuva é o ideal nessa fase, para favorecer a secagem gradativa e natural (ANDRADE; BORBA, 1993).

De fato, durante sua formação, a semente perde umidade, o que evita a germinação dentro do fruto ou junto da planta mãe, assim como sua deterioração pelo ataque de microrganismos. Essa redução no teor de umidade faz com que o embrião tenha seu metabolismo reduzido, aguardando condições favoráveis para que se desenvolva e origine uma nova planta (SCREMIN-DIAS et al., 2006).

Em contrapartida, a época de colheita também é um aspecto importante na qualidade de sementes, por exercer forte influência sobre seu vigor. Em seus estudos, Henning et al. (2011) e Zuchi et al. (2009) relataram que a colheita tardia pode ocasionar perdas à qualidade fisiológica e sanitária, pois as sementes ficam armazenadas no campo, sujeitas a condições potencialmente adversas de temperatura, umidade relativa, oscilações de teor de água e ataque de insetos e/ou microrganismos, que podem provocar perdas qualitativas e quantitativas.

Ao avaliar a qualidade de sementes de cártamo, colhidas em diferentes períodos de maturação, Girardi et al. (2013) constataram que o potencial germinativo é reduzido após período ideal de colheita, que ocorre no início da produção dos capítulos florais. Acrescentam que as sementes, coletadas mais tardiamente, além de terem seu potencial de germinação reduzido, apresentaram maior contaminação fúngica em relação às sementes coletadas no período ideal de colheita.

A colheita tardia, portanto, também pode justificar o baixo peso de grãos aqui registrado, haja vista que, devido ao excesso de chuvas, no período de maturação (outubro), a colheita foi realizada somente após sua maturação fisiológica natural.

Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), o ponto de maturação fisiológica é a fase de máxima qualidade das sementes, que compreende as transformações morfológicas e fisiológicas que sucedem o óvulo fertilizado. Isso é atingido, quando a semente apresenta máximo conteúdo de matéria seca e acentuada redução no teor de água, alterações visíveis no aspecto externo de frutos e sementes, culminando em máxima capacidade germinativa e de vigor. Portanto, após o ponto de maturação, ocorre deterioração progressiva das sementes de cártamo, gerando problemas à sua germinação e/ou vigor (GIRARDI et al., 2013).

4.2.1 Rendimento de grãos

Para efeito de análise, comparou-se a dose de maior eficiência agrônômica em relação àquela responsável pela maior eficiência econômica.

4.2.1.1 Dose de máxima eficiência agrônômica (DMEA)

A possibilidade de se estabelecer uma relação funcional, também foi constatada para os valores de rendimento de grãos, porém, neste caso, verificou-se, pois, o efeito quadrático das doses de nitrogênio, representado por meio de uma parábola, com concavidade voltada para baixo. Portanto, indicando haver um ponto de máximo ($a < 0$), chamado de vértice (V) (Figura 9).

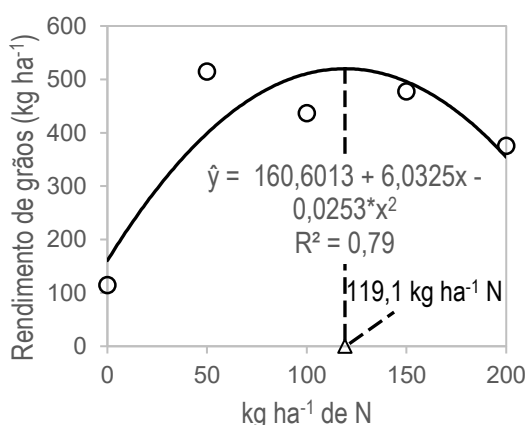


Figura 9 – Curva de resposta do rendimento de grãos de cártamo ao fertilizante nitrogenado, com indicação da dose de máxima eficiência agrônômica. Toledo-PR, 2018.

Nota: * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para o caso presente (Figura 9), as coordenadas no vértice foram V (119,1; 519,9), representado no gráfico pela linha tracejada. Neste caso, assumiu-se que a máxima produtividade ($519,9 \text{ kg ha}^{-1}$) foi atingida com a dose de $119,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de N ($\sim 265 \text{ kg ha}^{-1}$ de ureia). Portanto, essa foi a dose de máxima eficiência agrônômica (DMEA).

Doravante, quantidades superiores de N, aplicado em cobertura, influenciaram negativamente, acarretando redução na produtividade de grãos pelo efeito depressivo e, por consequência, a curva de resposta apresentou um comportamento descendente.

Entre o ponto de potencial máximo produtivo e a porção do gráfico, que decresce pelo efeito tóxico do N, em excesso, existe uma região chamada de “consumo de luxo”. Essa expressão é muito utilizada em estudos de nutrição de plantas, ou seja, é a porção na curva em que as plantas já não apresentaram mais aumento de produção proporcional ao aumento das doses do fertilizante aplicado. Porém, são doses que também não ocasionaram efeito depressivo à planta; nessa situação, portanto, não há qualquer benefício, conforme já mencionado por Larcher (2003).

Paludo et al. (2015) encontraram comportamento semelhante, ao estudar curva de resposta para variável massa seca da parte aérea de plantas de cártamo, submetidas a doses crescentes de adubo nitrogenado.

Em contrapartida, para doses crescentes de adubo NPK (4-14-8), até o limite de 800 kg ha^{-1} , sobre a variável produtividade de grãos de cártamo, Sampaio et al. (2016) verificaram apenas o efeito linear da adubação, registrando incrementos, sem observar qualquer efeito depressivo. Esse resultado é justificável, em virtude de o adubo ser misto, bem como pela formulação apresentar baixa concentração de nitrogênio e potássio, a ponto de não influenciar a variável produtividade de grãos de forma quadrática, por meio de curva, e que comprovaria a famosa lei dos acréscimos não proporcionais, exemplificada por Pimentel Gomes (1987).

4.2.1.2 Dose de máxima eficiência econômica (DMEE)

Muitas vezes, o ponto que correlaciona a dose ideal do nutriente à máxima produtividade ($\sim 120 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) não é o indicador ideal a se basear, mas sim, o ponto no modelo que representa a dose de máxima eficiência econômica (DMEE). A

dose mais econômica correspondeu à quantidade de N, acima da qual o valor do aumento no rendimento de grãos não mais superou o custo do fertilizante.

Para efeito de cálculo, estabeleceu-se uma relação de equivalência (2,41), em que, para a aquisição de 1 kg de N, haveria necessidade de 2,41 kg de grãos de cártamo, ou seja, nesse caso, se convencionou usar o próprio grão de cártamo como valor de troca, ao invés de moeda corrente, pelas dificuldades de se ilustrar conceitos econômicos, devido ao regime inflacionário do Brasil.

Conforme Raij (1991), a adubação é realizada com a expectativa de aumento de produção e de lucro. Em estudo econômico da produção agrícola, o fertilizante é apenas um dos diversos fatores que compõem os custos, porém, no caso dos estudos de adubação, ele passa a ser fator de maior interesse. Portanto, isolou-se o efeito do fertilizante na produção, para fazer o estudo econômico só do efeito desse insumo (Figura 10).

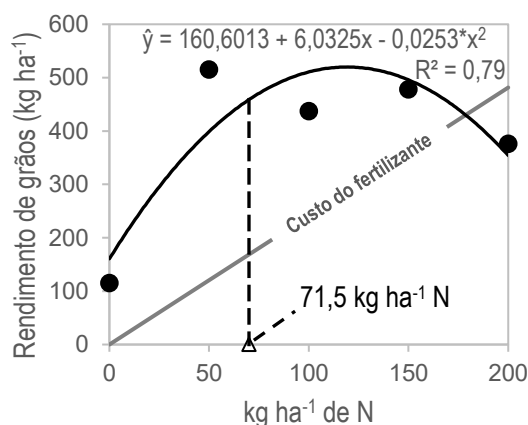


Figura 10 – Curva de resposta, mostrando o efeito da aplicação de nitrogênio sobre a produção de grãos de cártamo, com ajuste do polinômio do 2º grau, linha de custo para $P_x/P_y = 2,41$ e indicação de dose mais econômica. Toledo-PR, 2018.

Nota: * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para obter o máximo lucro por unidade de área, os ensaios conduziram para a dose mais econômica de 71,5 kg ha⁻¹ de N (~160 kg ha⁻¹ de ureia), representada no gráfico pela linha tracejada (Figura 10), que corresponde ao ponto de maior distância entre a curva de resposta da cultura e a linha de custo do fertilizante.

A dose de máxima eficiência econômica foi obtida pela aplicação da Equação 4 (Apêndice B), levando-se em consideração uma relação de preço de 2,41. Tal dose está cerca de 40% inferior àquela registrada para produção máxima

de grãos (Figura 9). Vale ressaltar que a relação de preço (2,41) não é fixa, cabendo ao interessado compor o valor mais conveniente, conforme condições de mercado.

Contudo, é essencial lembrar que as grandes variações nos preços do cártamo podem ser atribuídas às poucas áreas sob produção, a cada ano, e que mudanças nas áreas plantadas e produtividades médias podem afetar dramaticamente os preços, especialmente, no Brasil, onde a produção de cártamo ainda é muito tímida.

No caso presente, a DMEE elevou o teor do nutriente aproximadamente a 60% do rendimento máximo da cultura, dose que está abaixo do teor crítico. Tal situação foi atribuída ao baixo rendimento de grãos, mesmo na dose de N, em que se obteve o máximo rendimento da cultura (DMEA).

A explicação possível, aos baixos valores encontrados para rendimento de grãos, em todos os ensaios, foi atribuída a irregularidade na distribuição das chuvas, com pouca precipitação em julho, período de engalhamento, cerca de 2 mm. Em contrapartida, alto volume de chuvas, registrado, especialmente, entre o período de agosto a outubro; somente no mês de setembro, registraram-se 255 mm (Figura 4). Essas chuvas coincidiram com estádios de floração e maturação da cultura, assim, prejudicando sobremaneira a produção e qualidade dos grãos.

O rendimento médio mundial dessa oleaginosa, no ano de 2017, foi de 910 kg ha⁻¹, superior àqueles valores registrados pela nossa pesquisa. A Turquia obteve o maior rendimento médio para o período (1.826 kg ha⁻¹), seguido por México (1.564 kg ha⁻¹), China (1.428 kg ha⁻¹) e Estados Unidos (1.408 kg ha⁻¹) (FAOSTAT, 2019).

Para Mohammadi et al. (2018), o estresse hídrico diminui os componentes de rendimento e o teor de óleo nos grãos, com extensão de danos limitada às características genéticas do cultivar e à origem ecológica. O rendimento das culturas, certamente, é um reflexo de fatores externos, que, por sua vez, podem exercer influências deletérias sobre as plantas.

Em condições naturais e agrícolas, as plantas estão expostas a ambientes desfavoráveis, o que resulta um grau de estresse. O déficit hídrico, o estresse provocado pelo calor e choque térmico, o resfriamento e o congelamento, a salinidade, o excesso de chuvas ou mesmo a deficiência de oxigênio são os principais estressores que restringem o crescimento das plantas, de tal modo que as produtividades agrônômicas, no final da estação, expressam apenas uma fração do seu potencial genético (TAIZ et al., 2017).

Deve-se considerar, pois, que a cultura do cártamo se adapta às regiões de pouca precipitação e baixa umidade relativa, condições que permitem às plantas escapar de enfermidades radiculares e foliares (CORONADO, 2010). A raiz profunda e as folhas com cutícula espessa, presença de mucilagem e espinhos, são atributos da planta que lhe conferem maior tolerância à seca e ao calor, portanto, apta ao cultivo de lavoura xerófila (LICHSTON et al., 2010).

Em contrapartida, o cártamo é pouco tolerante a condições de alta umidade; solos saturados reduzem a emergência e, mesmo por curtos períodos, podem diminuir significativamente o estande de plantas. Durante a floração, chuvas por longos períodos interferem na polinização e formação das sementes. No Canadá, situações muito úmidas, durante a floração e formação de aquênios, promovem condições altamente favoráveis pelo acometimento de enfermidades, como *Alternaria* spp. e outras doenças foliares que reduzem o rendimento. Chuvas persistentes no período de maturação podem favorecer a brotação de sementes junto à planta, no próprio capítulo (RIVAS; MATARAZZO, 2009).

Os efeitos adversos do excesso de umidade, evidenciados por outros pesquisadores (PAVITHRA et al., 2015; MOHAMMADI et al., 2018), corroboram nossa pesquisa; para cultivo realizado entre os meses de maio e outubro de 2018, os resultados mostraram-se altamente danosos, conforme Figura 11.



Figura 11 – Reflexo do excesso de chuvas, 158 dias após operação de semeadura.

Em estudo desenvolvido por Silva et al. (2012), ao avaliarem o desempenho produtivo de 22 acessos de cártamo na região de Botucatu, SP, constataram que 50% dos acessos avaliados apresentaram produtividade média superior a 1.000 kg ha⁻¹, quando houve ocorrência de precipitação de 220 mm durante todo o período experimental, sendo 90% nos primeiros 60 dias.

Contudo, especialmente no Brasil, ainda há estudos em desenvolvimento, com o objetivo de selecionar e/ou melhorar genótipos de cártamo, assim como desenvolver as práticas agrônômicas mais eficientes e voltadas às distintas condições agroclimáticas. Portanto, conforme Mohammadi et al. (2018), a seleção de cultivar adequada, certamente, garantirá a obtenção de alto desempenho.

4.2.2 Teor de óleo, proteína e fibra

Para composição química de grãos, os teores médios de proteína, óleo e fibra foram de 27,8, 16,7 e 6,7%, respectivamente (Figura 12).

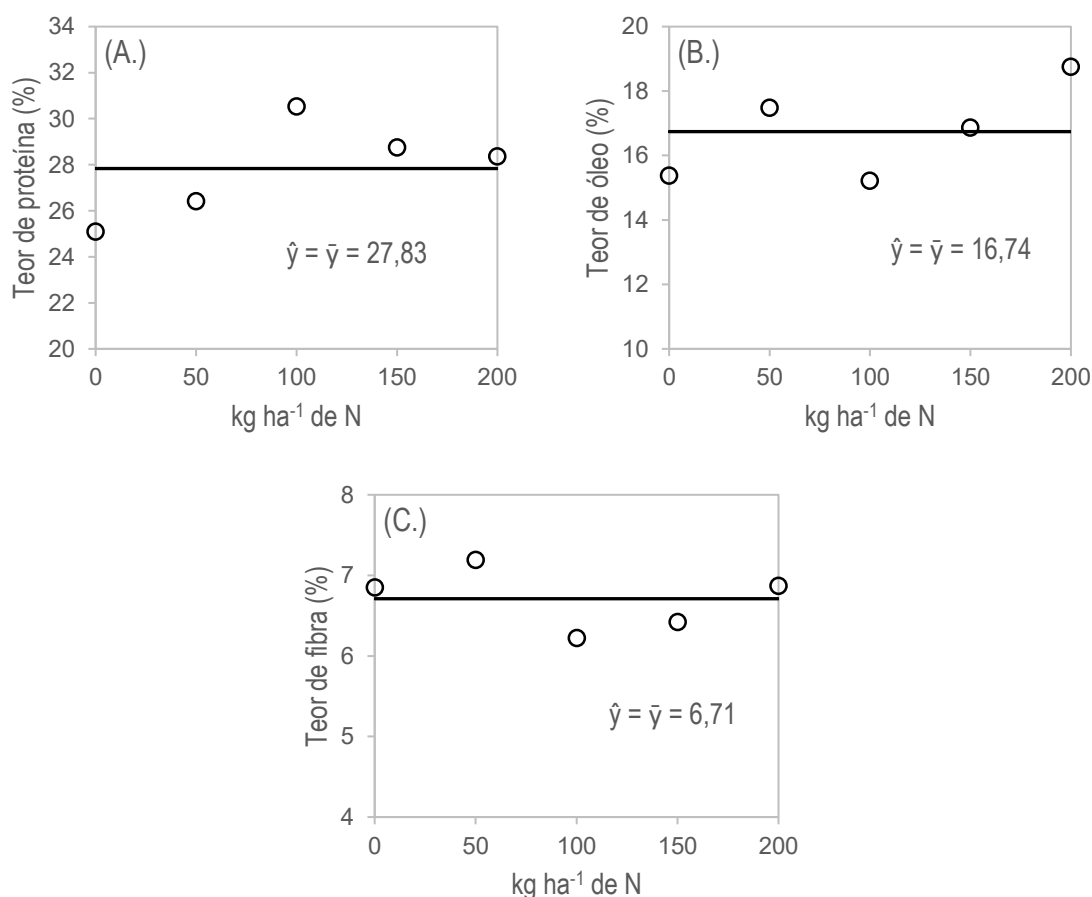


Figura 12 – Diferentes quantidades de N-ureia (kg ha⁻¹), aplicadas em cobertura, em função das variáveis: (A) teor de proteína nos grãos (%); (B) teor de óleo nos grãos (%); e (C) teor de fibra nos grãos (%). Toledo-PR, 2018.

Ao analisarem a composição química de grãos de cártamo, Abud et al. (2010) encontraram teor de óleo de cerca de 40%, proteína em 36% e amido em 3%, como material de reserva.

Suas características bromatológicas e de produção de óleo têm chamado atenção, visto que o farelo gerado por sua extrusão apresenta grande potencial de mercado, especialmente, para composição de ração animal (OLIVEIRA, 2016).

Para Possenti e Paulino (2010), o farelo de cártamo apresenta cerca de 35% de proteína, podendo ser usado na alimentação de ruminantes e monogástricos. Valeriano (2016), descreve as sementes de cártamo como importante fonte de proteína, armazenando-a em sua forma concentrada.

Contudo, ao avaliar a composição bromatológica e a digestibilidade da matéria seca de concentrados, contendo diferentes níveis de inclusão de grãos de cártamo (até 15%), em substituição ao farelo de soja, verificou-se, pois, que tal dieta proporcionou uma menor digestibilidade em ovinos, em função do aumento do teor de fibras indigestíveis e diminuição no teor de carboidratos prontamente digestíveis (FERNANDES et al., 2018).

Em pesquisa, desenvolvida por Valeriano (2016), o valor médio encontrado para proteína bruta foi de 12,5%, fibra bruta em 27,1%, extrato etéreo em 41,8%, cinzas em 3,1%, carboidratos em 10,3% e valor energético de 476,9 kcal. Contudo, o valor de proteína foi inferior a 36%, descrito por Abud et al. (2010), ou mesmo ao teor médio de 27,8%, registrado em nosso estudo (Figura 12A). Em contrapartida, o teor de fibras de 27,1% foi superior ao apresentado na Figura 12C, de 6,7%.

Bueno (2019), na região de Cascavel-PR, ao avaliar o efeito da adubação nitrogenada em cobertura, sobre distintos genótipos de cártamo, relatou teor médio de óleo de 16,8%, semelhante aos 16,7%, registrados em nosso estudo (Figura 12B). Já para Dajue e Mündel (1996), o teor de óleo nos grãos de cártamo pode variar entre 20 a 45%.

Doravante, em países como Argentina, os aquênios são comercializados segundo bases estatutárias, bonificando ou rebaixando-os, conforme padrões de qualidade, porém, a base de recebimento para teor de óleo é de 33% (ARGENTINA, 1994).

Todavia, em nosso estudo, o teor de óleo, obtido por extração Soxhlet, mostrou-se abaixo daquele comumente utilizado para comercialização (33%), com valores que variaram de 15,4 a 18,8% (Tabela 6).

Supõe-se que esse resultado esteja associado não só pelo comportamento climático durante condução do experimento, mas também pela alta densidade de plantas, atribuindo o baixo teor de óleo nos grãos à competição por nutrientes, água

e luz solar. Portanto, corrobora-se estudo desenvolvido por Sampaio et al. (2016), que verificaram o ápice da produção de óleo na densidade de 330.000 plantas ha⁻¹ (valor aproximado de 24%). Porém, na densidade de 440.000 plantas ha⁻¹, os autores evidenciaram efeito depressivo, com redução no teor de óleo. Emongor, Oagile e Kedikanetswe (2013), também, relatam diminuição significativa no teor de óleo de grãos de cártamo, com o aumento da densidade de plantas.

Para Emongor, Oagile e Kedikanetswe (2015), nas condições de Botsuana (região semiárida), o aumento da densidade de plantas de cártamo, de 100.000 para 250.000 plantas ha⁻¹, provocou redução do crescimento vegetativo e dos componentes de produção, devido à competição entre plantas por luz, nutrientes e água necessários para o crescimento e desenvolvimento.

Doravante, para melhor entendimento, avaliaram-se possíveis correlações existentes entre as variáveis rendimento de grãos, teor de proteína, óleo e fibras, aplicando a análise de correlação linear, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Coeficiente de correlação de Pearson (r), entre rendimento de grãos de cártamo e sua composição química. Toledo-PR, 2018

Variáveis	1	2	3	4
1. Rendimento de grãos	1	0,51*	0,31 ns	-0,08 ns
2. Teor de proteína		1	-0,09 ns	-0,02 ns
3. Teor de óleo			1	0,28 ns
4. Teor de fibra				1

Nota: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t, (n = 20); ns = não significativo.

Logo, com boa margem, observa-se que existe uma correlação positiva (alta) entre as variáveis rendimento de grãos e teor de proteína (r = 0,51), nesse caso, atribuída ao crescente aporte de N-ureia, empregado nos ensaios (Figura 13). O N é elemento-chave na síntese de proteína, afetando sobremaneira o metabolismo vegetal (PÍPOLO et al., 2015).

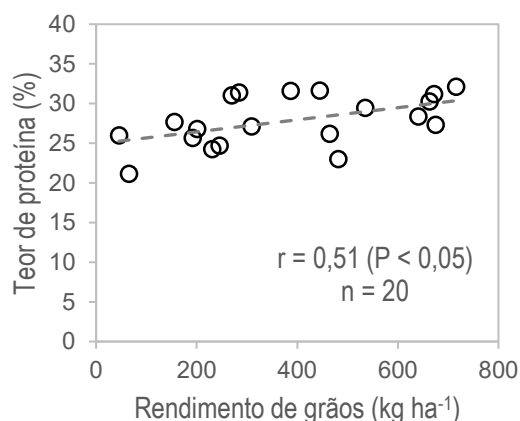


Figura 13 – Gráfico de dispersão, representando a correlação linear positiva ($r > 0$) existente entre rendimento de grãos (kg ha^{-1}) e teor de proteína nos grãos (%). Toledo-PR, 2018.

Ao avaliar o comportamento de cultivos de cártamo com três níveis de adubação nitrogenada em cobertura (0, 50 e 100 kg ha^{-1}), em condições de estresse hídrico, na região de Bahía Blanca (Argentina), Marinissen et al. (2008) constataram que o coeficiente de correlação de Pearson, entre rendimentos de grãos e teor de proteína, foi negativo (-0,27), ou seja, com os maiores rendimentos, obtiveram-se os menores níveis de proteína, porém, maior teor de óleo (0,22), resultado divergente daquele encontrado em nosso estudo. Os pesquisadores atribuíram tal situação à condição de estiagem extrema, na qual a adubação nitrogenada ocasionou redução significativa ao rendimento de grão, quando comparado à testemunha.

Doravante, o coeficiente de correlação linear de Pearson (Tabela 7), para todas as outras variáveis estudadas, não implicou relação de causa e efeito estatisticamente significativa.

No estudo das correlações, apesar de não significativo, constatou-se correlação inversa e/ou negativa entre proteína e lipídios ($r = -0,09 \text{ ns}$). Nesse caso, o aumento no teor de proteína resultou diminuição do teor de óleo, corroborando resultados de pesquisas que têm evidenciado a existência de correlações fenotípicas e genotípicas negativas entre tais variáveis (HAYATI; EGLI; CRAFTS-BRANDNER, 1996; COBER; VOLDENG, 2000; CHUNG et al., 2003; WANG et al., 2015).

Estudos têm demonstrado que grande parte das diferenças, observadas em campo, pode ser explicada pela variação na disponibilidade de N à planta, já que

esse elemento é chave na síntese de proteína, o que afeta, sobremaneira, o metabolismo vegetal (PÍPOLO et al., 2015).

O nitrogênio aumenta diretamente o teor de proteína nas sementes e nas partes vegetativas. Contudo, teores adequados de potássio e fósforo aumentam a capacidade das plantas de utilizar altas doses de nitrogênio, para produção de proteína, além de melhorar a qualidade dos produtos (POTAFOS, 1998; CAVALCANTE et al., 2016).

Pípolo, Sinclair e Camara (2004), ao desenvolverem um estudo *in vitro*, buscando avaliar se o teor de proteína e a concentração de óleo nos grãos de soja seriam afetados pelo suprimento de N, constataram que a concentração de proteína aumentou de 294 mg g⁻¹, com 20 mM de glutamina (fonte de N), para 445 mg g⁻¹, com 80 mM de glutamina, observando uma correlação positiva entre dose de N e teor de proteína. Também, constataram que as concentrações de óleo e proteína foram inversamente correlacionadas, sendo a síntese de proteína favorecida quando o N se tornou mais abundante.

Em experimentos de longa duração (33 anos), conduzidos na Embrapa Soja, foi verificado o efeito significativo do manejo do solo sobre as concentrações de proteína e óleo nos grãos de soja. Na ocasião, constatou-se que o plantio direto proporcionou maior concentração de proteína e menor de óleo, comparativamente aos manejos com mobilização do solo. Possivelmente, o principal fator, envolvido nessa resposta, foi a maior disponibilidade de N à soja, cultivada, nesse sistema, pelas condições mais favoráveis à fixação biológica de nitrogênio, sobretudo, menor amplitude térmica e maior conservação de água no solo (PÍPOLO et al., 2015). Os pesquisadores concluem que, apesar da concentração de óleo no plantio direto ser inferior à dos tratamentos com mobilização do solo, a produtividade de óleo por unidade de área foi maior no tratamento conservacionista, em razão da maior quantidade de grãos produzida.

Tais resultados vão de encontro aos dados observados nos ensaios com cártamo (Tabela 6 e 7), haja vista que a cultura antecessora, no sistema de rotação, era a soja, contribuindo para o aporte de N ao solo, além da aplicação de fertilizante, contendo nitrogênio no plantio; ademais, dos tratamentos com adubo nitrogenado em cobertura.

Contudo, a composição química de sementes não é simplesmente uma função do suprimento de nutrientes, mas é determinada geneticamente e influenciada pelas condições ambientais durante o cultivo (BURTON et al., 1995).

A composição química dos grãos, de qualquer genótipo, varia amplamente com o local de produção, clima e fertilizantes (CARRÃO-PANIZZI; MANDARINO, 1994). Espera-se que ocorram variações expressivas nesses teores, à medida que haja variação nas práticas culturais, nas características e no manejo do solo, na altitude e nas condições de clima, sobretudo chuvas e radiação solar (PÍPOLO et al., 2015).

Portanto, supõe que o estresse hídrico, ocasionado pelas chuvas em excesso, associado às temperaturas crescentes – registrado no período de floração e maturação – também, pode ter contribuído à diminuição dos componentes de rendimento e teor de óleo nos grãos, com extensão de danos limitada às características genéticas do cultivar e à origem ecológica. O rendimento produtivo, certamente, é um reflexo de fatores ambientais, que, por sua vez, podem exercer fortes influências depressivas sobre as plantas.

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que se desenvolveu o presente estudo, os resultados permitem concluir que:

- a) Entre os componentes de produção avaliados o diâmetro de caule, número de ramos, capítulos florais por planta, biomassa da parte aérea e rendimento de grãos registraram incremento com a adubação em cobertura. Isso indica que a cultura responde de forma positiva à fertilização nitrogenada;
- b) O comportamento das variáveis rendimento de grãos e teor de proteína, em resposta à adubação nitrogenada em cobertura, foram semelhantes. O N promoveu maior incremento no rendimento de grãos e favoreceu a síntese de proteína no grão;
- c) Segundo variação de preços, ocorrida no ano de 2018, a dose econômica de N, que proporcionou o lucro máximo ao cultivo de cártamo, foi de 70 kg ha⁻¹. A este nível de utilização a produção estimada de grãos foi de 458 kg ha⁻¹. Contudo, a decisão sobre a dose de máxima eficiência econômica a aplicar deve ser considerada com base no cálculo atualizado da relação de preço, na época de adubação;
- d) As plantas de cártamo, cultivar S-518, mostraram-se acometidas pela distribuição irregular das precipitações pluviais durante cultivo. As chuvas em excesso associadas a temperaturas crescentes, entre os estádios de floração e maturação fisiológica, afetaram, de forma indireta, o rendimento e qualidade de grãos;
- e) Para que os resultados apresentados sejam confirmados, faz-se necessário desenvolvimento de novos estudos a nível regional, especialmente, para o período de entressafra. Aconselha-se que, em estudos dessa natureza, considere-se maior número de épocas de observação, com maior número de repetições.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUD, H. F.; GONÇALVES, N. R.; REIS, R. de G. E.; GALLÃO, M. I.; INNECCO, R. Morfologia de sementes e plântulas de cártamo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 259-265, 2010.
- AGUASPARANÁ - INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Relatório de alturas diárias de precipitação**: Toledo, PR. 2018. Disponível em: <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasDiariasPrecipitacao.do?action=carregarInterfacelInicial>. Acesso em: 10 maio 2019.
- ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 369-376, 2005.
- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 3. ed. São Paulo: ANDA, 1998. 35 p.
- ANDRADE, R. V. de; BORBA, C. S. Fatores que afetam a qualidade das sementes. *In*: EMBRAPA. **Tecnologia para produção de sementes de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1993. p. 7-9. (Circular técnico, 19).
- ANICÉSIO, E. C. A. de; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A. da; PACHECO, A. B. Nitrogen and potassium in safflower: chlorophyll index, biometric characteristics and water use efficiency. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 424-433, abr./jun. 2018.
- ANTONIALLI, L. M. **Análise econômica sobre adubação com sulfato de zinco via foliar na produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Minas Gerais, 1988.
- ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**: dados 2018. 2019. Disponível em: <http://anda.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 23 maio 2019.
- ARGENTINA. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. **Resolución 1075 del 12 de diciembre de 1994**. Normas de calidad para la comercialización de granos y subproductos. 1994. Disponível em: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-1075-1994-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria>. Acesso em: 06 dez. 2018.
- BARROS, J. D. de S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; PEREIRA, W. E. Effects of different soil management systems in the chemical properties in the coastal plains of state Paraíba. **Iranica Journal of Energy & Environment**, p. 339-347, 2011.
- BELLÉ, R. A.; ROCHA, E. K. da; BACKES, F. A. A. L.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N. T. Safflower grown in different sowing dates and plant densities. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2145-2152, 2012.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. Nutrição, adubação e calagem para eucalyptus. *In*: FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. (org.). **Formação de povoamentos florestais**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2008. p. 55-65.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos. **Mapa de solos do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: IAPAR; EMBRAPA, 2008. 74 p.

BONFIM-SILVA, E. M.; PACHECO, A. B.; SILVA, T. J. A. da; SANTOS, É. S. do E.; BÄR, C. S. L. L.; SOUSA, H. H. de F. Biometric characteristics and visual diagnosis of safflower plants under macro and micronutrient omission. **International Journal of Current Research**, v. 8, n. 5, p. 31071-31076, 2016.

BORGHI, E.; RESENDE, Á. V. **Fertilidade no perfil do solo e sistemas de produção melhorados como estratégia de convivência com a seca**. Palestra proferida na 8a semana de integração tecnológica (SIT), Sete Lagoas, MG, 25 maio 2015.

BUENO, P. de L. **Cultivares de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) sob adubação nitrogenada em cobertura**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

BURKART, A. **Flora ilustrada de Entre Rios, Argentina**: parte VI, dicotiledôneas metaclamídeas. Buenos Aires: INTA, 1974. 554 p.

BURTON, J. W.; ISREAL, D. W.; WILSON, R. F.; CARTER, T. E. Effects of defoliation on seed protein concentration in normal and high protein lines of soybean. **Plant and Soil**, v. 172, p. 131-139, 1995.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BRUULSEMA, T.; LEMUNYON, J.; HERZ, B. **Fundamentos para utilização correta do seu fertilizante**. Piracicaba, SP: IPNI, 2009. (Informações Agronômicas, n. 126).

CAMARGO, J. R. V. de. **Análise econômica de experimentos de adubação na cultura de algodão**. São Paulo: Secretaria da Agricultura e Abastecimento/Instituto de Economia Agrícola, 1980. 17 p. (Relatório de Pesquisa, n. 4).

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; MANDARINO, J. M. G. **Girassol**: derivados protéicos. Londrina, PR: EMBRAPA-CNPSO, 1994. 27 p.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2012. 590 p.

CAVALCANTE, J. A.; PRIMIERI, C.; RIBEIRO, E. T.; DELUCA, R.; SILVA, W. G. da. Produtividade do trigo através de diferentes formas de adubação na semeadura e em cobertura. **Revista Cultivando o Saber**, edição especial, p. 1-14, 2016.

CHUNG, J.; BABKA, H. L.; GRAEF, G. L.; STASWICK, P. E.; LEE, D. J.; CREGAN, P. B.; SHOEMAKER, R. C.; SPECHT, J. E. The seed protein, oil, and yield QTL on soybean linkage group I. **Crop Science**, v. 43, p. 1053-1067, 2003.

CLIMATEMPO. **Histórico de dados meteorológicos: estação Marechal Cândido Rondon-PR**, 2018. São Paulo, SP: Climated StormGeo Company, 2019.

COBER, E. R.; VOLDENG, H. D. Developing high-protein, high-yield soybean population and lines. **Crop Science**, v. 40, p. 39-42, 2000.

COELHO, A. M. Fertigação. *In*: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (org.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília, DF: Embrapa SPI, 1994. cap. 8, p. 201-227.

CORONADO, L. M. **El cultivo del cartamo (*Carthamus tinctorius* L.) em México**. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2010. 86 p.

COSTA, A. R. da. **Nutrição mineral em plantas vasculares**. Portugal: Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora, 2014. 139 p.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Irradiação solar diária média mensal: Toledo, PR**. 2017. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 19 fev. 2019.

DAJUE, L.; MÜNDEL, H. H. **Safflower (*Carthamus tinctorius* L.): Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crop**. Rome: IPGRI, 1996. 81 p.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006. 685 p.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G. de; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise granulométrica. *In*: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3.ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2017. Cap.10, p.95-116.

DORDAS, C. A.; SIOULAS, C. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. **Field Crops Research**, v. 110, n. 1, p. 35-43, 2009.

EMONGOR, V.; OAGILE, O.; KEDIKANETSWE, B. Effects of plant population on growth, development and oil yield of safflower. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, p. 321-333, 2013.

_____. Effects of plant population and season on growth and development of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as an ornamental plant. **Acta Horticulturae**, n. 1077, p. 35-45, 2015.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2018**: ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018. 292 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants**: principles and perspectives. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo com variáveis da forma de aplicação de ureia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 993-1000, 2002.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven**: biologia vegetal. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

FAOSTAT. **Crops**: safflower seed. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 04 jun. 2019.

FERNANDES, J. W. S.; ANSCHAU, L. M.; SILVA, T. I. de S.; MARTINEZ, A. C.; GOES, R. H. de T. B. de; OLIVEIRA, R. T. de. Substituição do farelo de soja pelo grão de cártamo na terminação de ovinos. *In*: ENCONTRO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 12., 2018, Dourados. **Anais [...]**. Dourados, MS, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FERREIRA, P. P. **Desempenho agrônomo do cártamo submetido à compactação do solo e adubação nitrogenada em Latossolo Vermelho**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, Cuiabá, 2016.

FRANCO, J. A. M.; SARAIVA NETO, A. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimento de matéria-prima. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba, SP: IPNI, 2007. cap. 4, p. 127-161.

GALANT, N. B. **Profundidade de semeadura na emergência de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Paraná, 2017.

GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; SILVA, M. A. Melhoramento de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). **Acta Iguazu**, v. 4, n. 1, p. 14-25, 2015.

GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; KAISER, F.; NUNES, M. D.; LEWANDOSKI, C. F. Irrigação e adubação nitrogenada em cultivo de cártamo. *In: ANAIS DA X SEAGRO*, 10., 2016, Cascavel. **Anais [...]**. Cascavel, PR: FAG, 2016. p. 99-102.

GIRARDI, L. B.; BELLÉ, R. A.; LAZAROTTO, M.; MICHELON, S.; GIRARDI, B. A.; MUNIZ, M. F. B. Qualidade de sementes de cártamo colhidas em diferentes períodos de maturação. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, supl. 1, p. S67-S73, 2013.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. de. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. *In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 18, p. 991-1015.

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. **Žemdirbystė=Agriculture**, v. 99, n. 2, p. 159-166, 2012.

GROS, A. **Adubos**: guia prático da fertilização. 3. ed. Lisboa: Livraria Clássica editora, 1977. 348 p.

GUIDORIZZI, F. V. C. **Acúmulo de macronutrientes e produtividade de genótipos de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) em função da adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016.

HALILOGLU, H.; BEYYAVAS, V. The effects of nitrogen and zinc applications on the yield, yield components and oil ratio of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under semi-arid conditions. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, n. 4, p. 7591-7604, 2019.

HAYATI, R.; EGLI, D. B.; CRAFTS-BRANDNER, S. J. Independence of nitrogen supply and seed growth in soybean: studies using an in vitro culture system. **Journal Experimental Botany**, v. 47, p. 33-44, 1996.

HENNING, F. A.; JACOB JUNIOR, E. A.; MERTZ, L. M.; PESKE, S. T. Qualidade sanitária de sementes de milho em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 316-321, 2011.

HOPKING, W. G. **A new view of statistics**. Correlation coefficient. 2016. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/>. Acesso em: 23 jan. 2019.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

IEA - INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Preços mensais pagos pela agricultura: uréia**. 2018. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea_Testes/pagos2.aspx?cod_sis=5. Acesso em: 23 maio 2019.

JONES, J. B. **Plant nutrition and soil fertility manual**. 2. ed. USA: CRC Press, 2012. 304 p.

JONES, R.; OUGHAM, H.; THOMAS, H.; WAALAND, S. **The Molecular Life of Plants**. UK: Wiley-Blackwell, 2013.

JORGE, J. A. **Solo: manejo e adubação**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 309 p.

KAFFKA, S. R.; KEARNEY, T. E. **Safflower production in California**. 2. ed. Davis, CA: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 1998. 29 p.

KATYAL, J. C.; SINGH, B.; VLEK, P. L. G.; BURESCH, R. J. Efficient nitrogen use as affected by urea application and irrigation sequence. **Soil Science Society American Journal**, v. 51, p. 366-370, 1987.

KITANO, M.; INOUE, Y.; YAMAZAKI, Y.; HAYASHI, F.; KANBARA, S.; MATSUSHI, S.; YOKOYAMA, T.; KIM, S.; HARA, M.; HOSONO, H. Ammonia synthesis using a stable electride as an electron donor and reversible hydrogen store. **Natural Chemistry**, v. 4, p. 934-940, 2012.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups**. 4. ed. New York: Springer, 2003. 514 p.

LARA-CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H. P.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997.

LICHSTON, J. E.; SOUZA, V. H. M. de; SIQUEIRA, M. de; MEDEIROS, M. N. F. de; LIMA, E. R. de; LIMA, J. P. M. S.; COSTA, M. Adaptações anatômicas de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) contra dessecação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4 & SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: **Anais** [...]. Campina grande: Embrapa algodão, 2010. p. 834-838.

LIEBIG, J. V. **Die organische chemie in ihrer anwendung auf agricultur und physiologie**. Braunschweig: Vieweg, 1840. 349 p.

LIMA, M. M. de; AZEVEDO, C. A. V. de; BELTRÃO, N. E. de M.; NETO, J. D.; GONÇALVES, C. B.; SANTOS, C. G. da F. Nitrogênio e promotor de crescimento: efeitos no crescimento e desenvolvimento do algodão colorido verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 624-628, 2006.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; COELHO, H. A. Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do girassol. **Científica**, v. 40, n. 1, p. 59-68, 2012.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001. 182 p.

LUZ, M. J. da S.; FERREIRA, G. B.; BEZERRA, J. R. C. **Como aplicar os fertilizantes recomendados em sua lavoura**. Campina Grande, PB: Embrapa, 2003. 21 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 110).

MAGALHÃES, J. R. **Adubação nitrogenada e potássica no desenvolvimento de *Carthamus tinctorius* L.** 2017. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrária, Montes Claros, MG, 2017.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1987. 496 p.

_____. **Futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais**. Piracicaba, SP: IPNI, 2008. (Informações Agronômicas, n. 121).

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974. 752 p.

MARCONATO, R. **Análise do custo de transporte de fertilizantes com uso de modelagem digital de terreno**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

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

MARINISSEN, A.; LAURIC, A.; RIVAS, J.; LOEWY, T. **Experiencia en campo de productor: rendimiento y calidad del cultivo del cártamo frente a la fertilización nitrogenada em um año de sequía**. Argentina: INTA, 2008.

MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN-FILHO, C. P.; MAUAD, M.; SIQUEIRA, V. C.; GONÇALVES, A. A. Physical properties of safflower grains. Part I: geometric and gravimetric characteristics. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, p. 344-349, 2017.

MELLO, F. de A. F. **Uréia fertilizante**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1987. 192 p.

MENDES JUNIOR, A. A.; BUENO, O. de C. Participação da energia fóssil na produção dos fertilizantes industriais nitrogenados com ênfase na ureia. **Revista Energia na Agricultura**, v. 30, n. 4, p. 442-447, 2015.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MITSCHERLICH, E. A. **Die bestimmung des düngerbedürfnisses des bodens.** 3 ed. Berlin: Livraria Paul Parey, 1930.

MOHAMMADI, M.; GHASSEMI-GOLEZANI, K.; CHAICHI, M. R.; SAFIKHANI, S. Seed oil accumulation and yield of safflower affected by water supply and harvest time. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 2, p. 1-8, 2018.

MOURA, P. C. S.; BORTOLHEIRO, F. P. A. P.; GUIMARÃES, T. M.; LEAL, D. P. V.; SILVA, M. A. Características gerais e ecofisiologia do cártamo (*Carthamus tinctorius*). **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. especial, p. 136-150, 2015.

MÜNDEL, H. H.; BLACKSHAW, R. E.; BYERS, R.; HUANG, H. C.; JOHNSON, D. L.; KEON, R.; KUBIK, J.; MCKENZIE, R.; OTTO, B.; ROTH, B.; STANFORD, K. **Safflower production on the Canadian prairies: revisited in 2004.** Canadá: Agriculture and Agri-Food Canada, 2004. 34 p.

MURRELL, T. S. **As plantas não se importam com as condições de mercado.** Piracicaba, SP: IPNI, 2009. (Informações Agronômicas, n. 126).

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná.** Londrina, PR: IAPAR, 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em: 05 maio 2019.

OELKE, E. A.; OPLINGER, E. S.; TEYNOR, T. M.; PUTNAM, D. H.; DOLL, J. D.; KELLING, K. A.; DURGAN, B. R.; NOETZEL, D. M. **Safflower.** Alternative field crops manual. 1992. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/safflower.html>. Acesso em: 5 jun. 2018.

OLIVEIRA, C. V. K. de. **Análise do cártamo como cultura energética.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

PACE, M.G.; ISRAELSEN, C.E.; CREECH, E.; ALLEN, N. **Growing safflower in Utah.** 2015. Disponível em: <https://extension.usu.edu/boxelder/ou-files/GrowingSafflowerinUtah.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2019.

PALUDO, J. T. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, J. V. R.; SILVA, T. J. A. da. Desenvolvimento do cártamo submetido a doses de nitrogênio em solo do Cerrado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: **Anais [...]**. Natal, RN, 2015. p. 4.

PARRA, M. S.; CHAVES, J. C. D.; MUZILLI, O. Adubação nitrogenada. *In*: IAPAR; EMBRAPA. **Bases para o uso racional de corretivos e adubos no Estado do Paraná.** Londrina, PR: IAPAR; EMBRAPA, 1982. cap. 3, p. 31-56.

PAVITHRA, K. P.; PATIL, R. S.; HARIJAN, Y.; BASAVARAJAPPA, M. P. *Alternaria* disease screening in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Trends in Biosciences**, v. 8, n. 18, p. 4827-4831, 2015.

PESEK, J. G.; STANFORD, N. L. C. Nitrogen production and use. *In: _____*. **Fertilizer technology and use**. Madison Wisconsin, USA: Soil Sci. Soc. of American Inc., 1971. p. 217-219.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos**: ureia fertilizante. Rio de Janeiro: Petrobras, 2019. 12 p.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 1976. 430 p.

_____. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. 3. ed. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1987. 162 p.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. A interpretação econômica de um ensaio de adubação de *E. grandis*. **IPEF**, n. 43/44, p. 61-64, jan./dez. 1990.

PÍPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Teores de óleo e proteína em soja**: fatores envolvidos e qualidade para a indústria. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2015. 15 p. (Comunicado Técnico, 86).

PÍPOLO, A. E.; SINCLAIR, T. R.; CAMARA, G. M. S. Protein and oil concentration of soybean seed cultured in vitro using nutrient solution of differing glutamine concentration. **Annals of Applied Biology**, v. 144, p. 223-227, 2004.

POSSENTI, R. A.; PAULINO, V. T. Composição da torta de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e perfil de ácidos graxos dos óleos extraídos. *In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 47., 2010. **Anais [...]**. UFBA, 2010.

POTAFOS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1998. 177 p.

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

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas, SP: IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p.

RIVAS, J.; MATARAZZO, R. **Produção de cartamo consideraciones generales**. Argentina: INTA, 2009. 19 p. (Boletín de Divulgación, 20).

ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; GASSER, M. O.; MACDONALD, J. D.; PELSTER, D. E.; BERTRAND, N. Ammonia retention and nitrogen retention: how deep to incorporate urea. **Journal of Environmental Quality**, v. 42, p. 1635-1642, 2013.

SAMPAIO, M. C.; SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; VASCONSELOS, E. S. de; SILVA, M. de A.; SECCO, D.; SILVA, T. R. B. da. Fertilizer improves seed and oil yield of safflower under tropical conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 589-595, 2016.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018a.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7.ed. Viçosa, MG: SBCS, 2015. 101p.

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; SARTORI, M. M. P.; ZANNOTO, M. D.; SILVA, M. de A. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) yield as affected by nitrogen fertilization and different water regimes. **Acta Agronômica**, v. 67, n. 2, p. 264-269, 2018b.

SANTOS, R. F.; SILVA, M. A. *Carthamus tinctorius* L.: uma alternativa de cultivo para o Brasil. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 1, p. 26-35, 2015.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Frederico Westphalen, RS: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo; Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016. 375 p.

SCREMIN-DIAS, E.; KALIFE, C.; MENEGUCCI, Z. dos R. H.; SOUZA, P. R. de. **Produção de mudas de espécies florestais nativas**: manual. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 2006. 59 p.

SILVA, C. J. **Caracterização agronômica e divergência genética de acessos de cártamo**. 2013. Tese (Doutorado em Agronomia - Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista - Campus de Botucatu, São Paulo, 2013.

SILVA, C. J. da; TOPPA, E. V. B.; ZOZ, T.; GERHARDT, I. F. S.; ZANOTTO, M. D. Avaliação do desempenho produtivo de acessos de cártamo sob condições de safrinha. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 5.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 2.; FÓRUM CAPIXABA DE PINHÃO MANSO, 2012, Guarapari. Desafios e Oportunidades: **Anais** [...]. Campina grande: Embrapa Algodão, 2012. p. 353.

SILVA, A. F. da; CONCENÇO, G.; ASPIAZÚ, I.; GALON, L.; FERREIRA, E. A. Método de controle de plantas daninhas. *In*: OLIVEIRA, M. F. de; BRIGHENTI, A. M. (ed.). **Controle de plantas daninhas**: método físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia. Brasília, DF: Embrapa, 2018. cap. 1, p. 11-33.

SOLANALISE. **Laudo análise de solo**: 74279/2018. Cascavel, PR: Solanalise Central de Análises Ltda, 2018.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; SANTOS, D. M. da S.; BUSH, A. Molibdênio e coinoculação de sementes de amendoim com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* em solo do cerrado. **Acta Iguazu**, v. 7, n. 4, p. 128-137, 2018.

STEVENSON, F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: _____. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison, USA: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 1982. cap. 1, p. 1-42.

STRASIL, Z.; VORLICEK, Z. The effect of nitrogen fertilization, sowing rates and site on yields and yield components of selected varieties of safflower (*Carthamus tinctorius*). **Rostlinna Vyroba**, v. 48, n. 7, p. 307-311, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017. 858 p.

TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas do nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 193-201, 2002.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Prices Received: marketing year average for safflower**. 2018. Disponível em: http://www.nass.usda.gov/Quick_Stats/Lite/. Acesso em: 31 maio 2019.

VALERIANO, F. R. **Morfoanatomia e composição centesimal de sementes de gergelim e cártamo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2016.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p.

VILLALBA, H. A. G.; LEITE, J. M.; OTTO, R.; TRIVELIN, P. C. O. **Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias**. Piracicaba, SP: IPNI Brasil, 2014. (Informações Agronômicas, n. 148).

VITAFOR. **Óleo de cártamo e seus benefícios**. 2018. Disponível em: <https://www.vitafor.com.br/EMKT/boletim/OleodeCartamo.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2018.

WANG, J.; CHEN, P.; WANG, D.; SHANNON, G.; SHI, A.; ZENG, A.; ORAZALY, M. Identification of quantitative trait loci for oil content in soybean seed. **Crop Science**, v. 55, p. 23-34, 2015.

WEISS, E. A. **Castor, Sesame, and Safflower**. New York: Barnes and Noble, Inc., 1971. 901 p.

WERNER, O. V. **Adubação nitrogenada em cultura energética: canola**. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Paraná, 2012.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; PASCHOAL, T. S.; PEREIRA, N.; ARAÚJO, P. M. de; SECCO, D.; SANTOS, R. F. dos; PRIOR, M. Seed productivity, oil content and accumulation of macronutrients in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes in subtropical region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1254-1260, 2017.

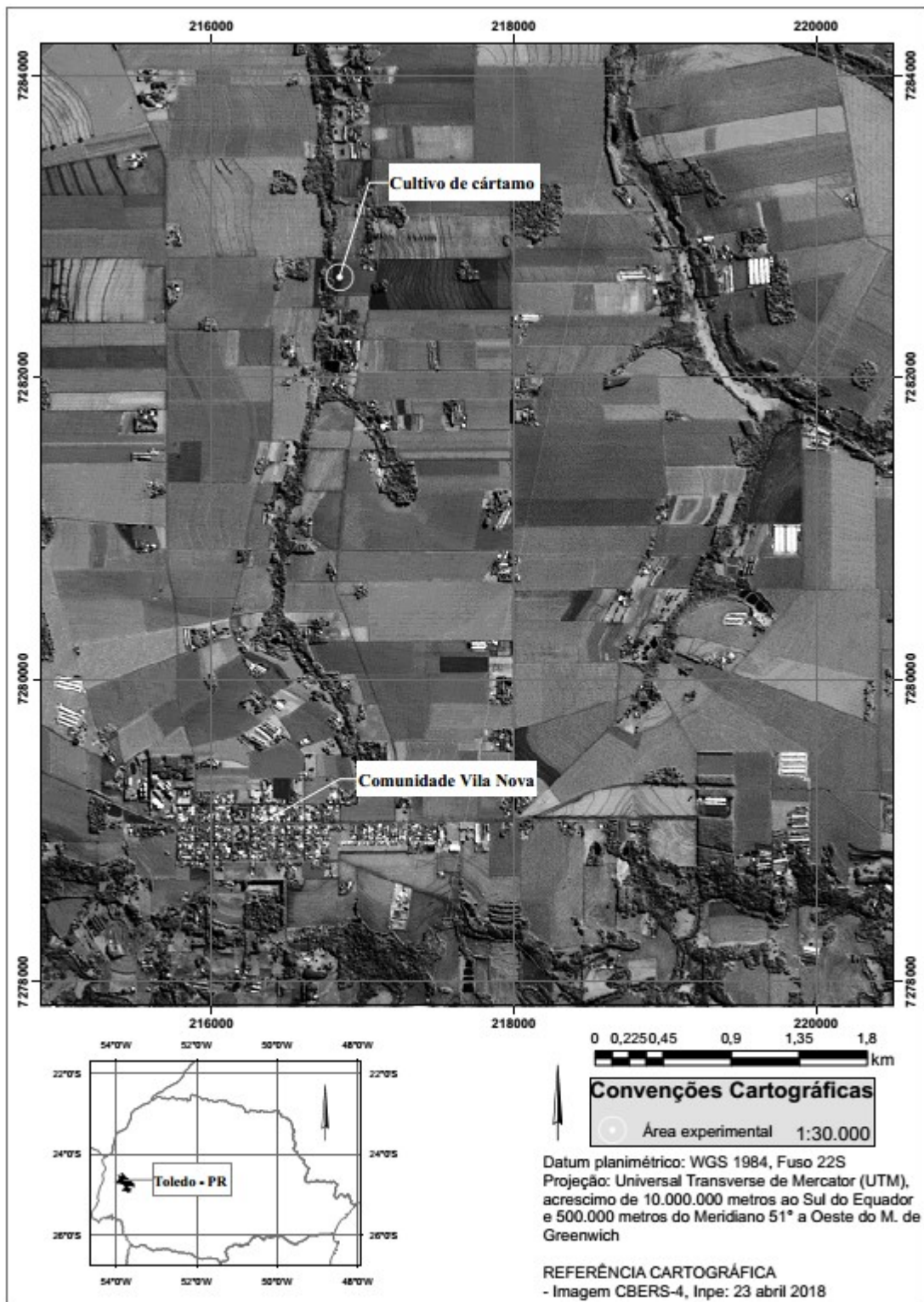
ZANDONADI, D. B.; SANTOS, M. P.; MEDICI, L. O.; SILVA, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 14-20, 2014.

ZUBER, M. S. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniform trial data. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 34, n. 1, p. 30-47, 1942.

ZUCHI, J.; PESKE, S. T.; BEVILAQUA, G. A. P.; SILVA, S. D. dos A. e. Retardamento de colheita, método de secagem e qualidade de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p. 9-15, 2009.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSH, A.; SANTOS, D. M. da SILVA. Adubação nitrogenada na soja inibe a nodulação e não melhora o crescimento inicial das plantas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 333-349, 2019.

APÊNDICE A – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

APÊNDICE B – DADOS DE PRODUÇÃO, EFICIÊNCIA E ECONÔMICOS CALCULADOS

Fertilizante	Produção de cártamo	Incremento de Produção	Eficiência do fertilizante no incremento	Custo do fertilizante	Custo do cártamo	Custo do fertilizante em termos da colheita	Lucro do fertilizante
	kg ha ⁻¹		kg de cártamo /kg fertilizante		kg ha ⁻¹		
0	160,60	—	0	0	303,54	0	—
5	190,13	29,53	5,91	22,75	359,35	12,04	17,49
10	218,39	28,26	5,65	45,50	412,76	24,07	33,72
15	245,39	27,00	5,40	68,25	463,79	36,11	48,68
20	271,12	25,73	5,15	91,00	512,42	48,15	62,37
25	295,59	24,47	4,89	113,75	558,66	60,19	74,80
30	318,79	23,20	4,64	136,50	602,51	72,22	85,96
35	340,72	21,93	4,39	159,25	643,96	84,26	95,86
40	361,39	20,67	4,13	182,00	683,02	96,30	104,49
45	380,79	19,40	3,88	204,75	719,69	108,33	111,85
50	398,92	18,14	3,63	227,50	753,97	120,37	117,95
55	415,79	16,87	3,37	250,25	785,85	132,41	122,79
60	431,40	15,60	3,12	273,00	815,34	144,44	126,35
65	445,73	14,34	2,87	295,75	842,44	156,48	128,65
70	458,81	13,07	2,61	318,50	867,14	168,52	129,69
75	470,61	11,81	2,36	341,25	889,46	180,56	129,45
80	481,15	10,54	2,11	364,00	909,37	192,59	127,96
85	490,42	9,27	1,85	386,75	926,90	204,63	125,19
90	498,43	8,01	1,60	409,50	942,04	216,67	121,16
95	505,17	6,74	1,35	432,25	954,78	228,70	115,87
100	510,65	5,48	1,10	455,00	965,12	240,74	109,31
105	514,86	4,21	0,84	477,75	973,08	252,78	101,48
110	517,80	2,94	0,59	500,50	978,64	264,81	92,38
115	519,48	1,68	0,34	523,25	981,81	276,85	82,02
120	519,89	0,41	0,08	546,00	982,59	288,89	70,40
125	519,03	-0,85	-0,17	568,75	980,98	300,93	57,51
130	516,91	-2,12	-0,42	591,50	976,97	312,96	43,35
135	513,53	-3,39	-0,68	614,25	970,57	325,00	27,93
140	508,87	-4,65	-0,93	637,00	961,77	337,04	11,24
145	502,96	-5,92	-1,18	659,75	950,59	349,07	-6,72
150	495,77	-7,18	-1,44	682,50	937,01	361,11	-25,94
155	487,32	-8,45	-1,69	705,25	921,04	373,15	-46,43
160	477,60	-9,72	-1,94	728,00	902,67	385,19	-68,18
165	466,62	-10,98	-2,20	750,75	881,91	397,22	-91,20
170	454,37	-12,25	-2,45	773,50	858,76	409,26	-115,49
175	440,86	-13,51	-2,70	796,25	833,22	421,30	-141,04
180	426,08	-14,78	-2,96	819,00	805,29	433,33	-167,86
185	410,03	-16,05	-3,21	841,75	774,96	445,37	-195,94
190	392,72	-17,31	-3,46	864,50	742,24	457,41	-225,29
195	374,14	-18,58	-3,72	887,25	707,12	469,44	-255,91
200	354,29	-19,84	-3,97	910,00	669,62	481,48	-287,79

Nota: Preço kg de N = 4,55. Preço kg de aquênios de cártamo = 1,89. Relação de troca = o custo de 1 kg de N equivale a 2,41 kg de cártamo, (kg de produto /kg de nutriente). **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

**APÊNDICE C – PROTOCOLO DE APROVAÇÃO DO PLANO DE TRABALHO
(ANÁLISES LABORATORIAIS)**



**PROTOCOLO
PLANO DE TRABALHO**



PROJETO
ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CULTURA ENERGÉTICA - CÁRTAMO

AVALIAÇÃO	
DATA:	10/04/2019
HÁ POSSIBILIDADE DO PROJETO SER EFETUADO CONFORME PLANO?	
SIM, NA TOTALIDADE	<input checked="" type="checkbox"/>
SIM, PARCIALMENTE	<input type="checkbox"/>
NÃO	<input type="checkbox"/>
OBS:	Devido ao elevado número de ensaios a ser realizado, faz-se necessário que ao menos um aluno venha auxiliar o técnico da Fundetec para realizar as análises durante 1 semana nos períodos da manhã.

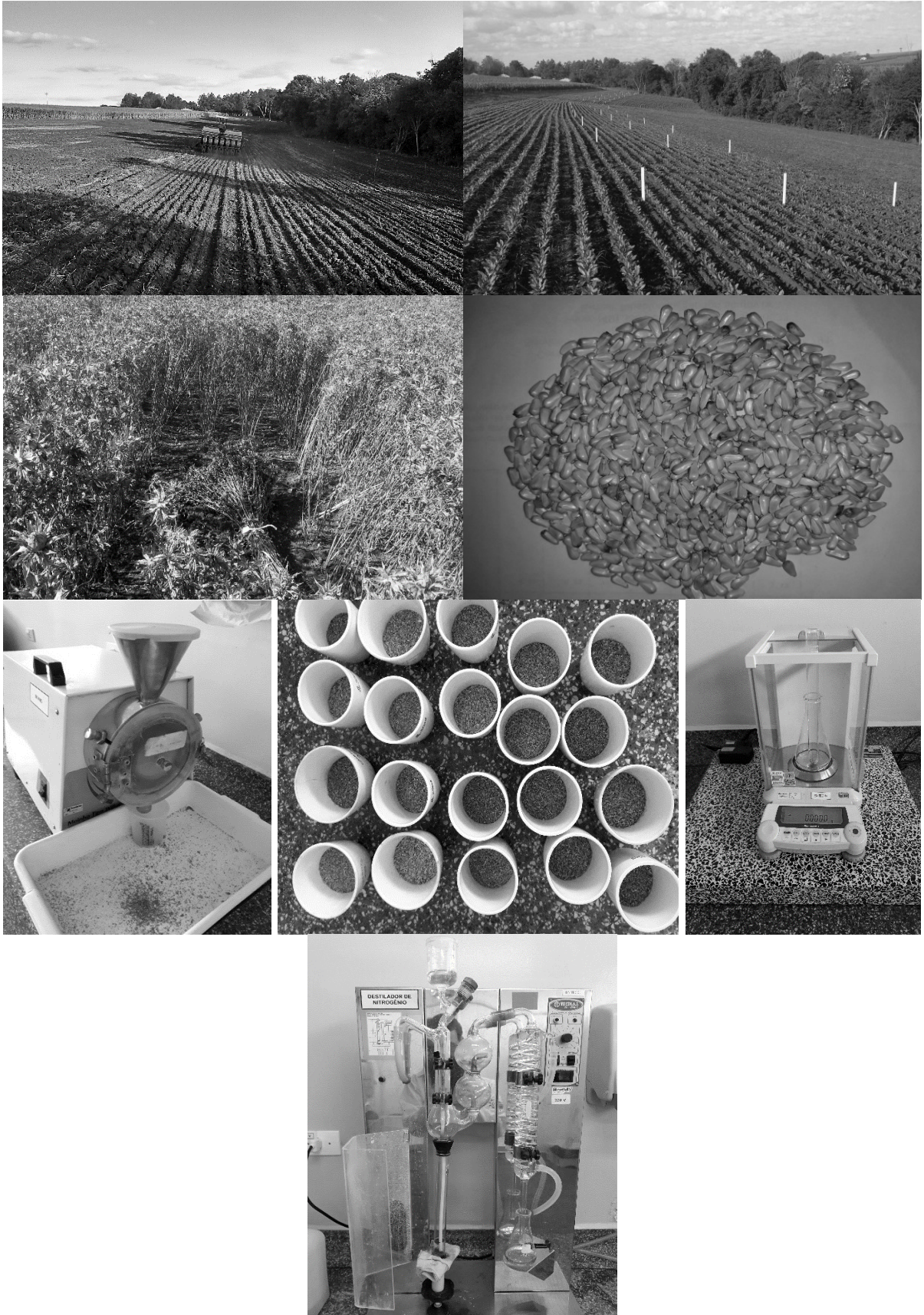
REAGENTES NECESSÁRIOS	
REAGENTE	QUANTIDADE
HEXANO P.A. – 1 LITRO	10 frascos
ÁCIDO SULFÚRICO P.A. – 1 LITRO	1 frasco
HIDRÓXIDO DE SÓDIO P.A. – 1KG	1 frasco

APROVAÇÃO:

Cascavel, 10 de abril de 2019

Frederico Lovato
Engenheiro Químico - Fundetec

APÊNDICE D – IMAGENS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA A CAMPO E LABORATORIAIS



ANEXO A – PREÇOS MÉDIOS MENSAIS PAGOS PELA AGRICULTURA

GRUPO	PRODUTO ¹	UNIDADE	ANO	MÊS	MOEDA ²	PREÇO
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	01	R\$	1.967,70
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	02	R\$	1.960,52
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	03	R\$	1.955,77
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	04	R\$	1.955,12
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	05	R\$	1.949,48
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	06	R\$	2.033,04
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	07	R\$	2.024,64
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	08	R\$	2.066,97
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	09	R\$	2.258,72
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	10	R\$	2.250,46
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	11	R\$	2.091,03
Fertilizantes e Corretivos	Ureia	toneladas	2018	12	R\$	2.087,32

Nota: ¹ 1 kg de ureia = 0,45 kg de N. ² R\$ = Real brasileiro.

Fonte: Instituto de Economia Agrícola/Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo (2018).

**ANEXO B – PREÇOS RECEBIDOS, MÉDIA DO ANO DE COMERCIALIZAÇÃO
PARA O CÁRTAMO**

YEAR	LOCATION	REFERENCE PERIOD	COMMODITY	PRICE RECEIVED IN \$/CWT ^{1,2}
2000	US Total	Marketing Year	Safflower	10.6
2001	US Total	Marketing Year	Safflower	10.9
2002	US Total	Marketing Year	Safflower	12.2
2003	US Total	Marketing Year	Safflower	13.7
2004	US Total	Marketing Year	Safflower	12.1
2005	US Total	Marketing Year	Safflower	12.4
2006	US Total	Marketing Year	Safflower	13.5
2007	US Total	Marketing Year	Safflower	18.6
2008	US Total	Marketing Year	Safflower	24.8
2009	US Total	Marketing Year	Safflower	17.1
2010	US Total	Marketing Year	Safflower	17.2
2011	US Total	Marketing Year	Safflower	24.4
2012	US Total	Marketing Year	Safflower	27.6
2013	US Total	Marketing Year	Safflower	27.9
2014	US Total	Marketing Year	Safflower	25.0
2015	US Total	Marketing Year	Safflower	24.5
2016	US Total	Marketing Year	Safflower	20.7
2017	US Total	Marketing Year	Safflower	18.6
2018	US Total	Marketing Year	Safflower	20.3

Nota: ¹ cwt = *centum weight*, tem o peso de 100 *pounds* ou cerca de 45,36 kg. ² \$ = *dollars* (1 Dólar americano = 3,92 Real brasileiro, câmbio 31/05/2019).

Fonte: USDA/NASS (2018).