

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

CRAMBE CULTIVADO EM SUCESSÃO AO MILHO
FERTILIZADO COM LODO DE ESGOTO POR DEZOITO
ANOS CONSECUTIVOS

Roberta Souto Carlos
Tecnóloga em Biocombustíveis

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CRAMBE CULTIVADO EM SUCESSÃO AO MILHO
FERTILIZADO COM LODO DE ESGOTO POR DEZOITO
ANOS CONSECUTIVOS**

Roberta Souto Carlos

Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do solo).

2017

Carlos, Roberta Souto
C284c Crambe cultivado em sucessão ao milho fertilizado com lodo de
esgoto por dezoito anos consecutivos / Roberta Souto Carlos. – –
Jaboticabal, 2017
xii, 48 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Wanderley José de Melo
Banca examinadora: Marcela Midori Yada, Celso Antonio Jardim
Bibliografia

1. Bioenergia. 2. Nutrição mineral. 3. Resíduo orgânico. 4. Rotação
de culturas. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.4:631.811

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Roberta Souto Carlos nascida em Ribeirão Preto/SP, em 26 de Setembro de 1993, graduou-se em tecnologia em biocombustíveis pela Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal (Fatec) em 2014. Durante a graduação, realizou diversos trabalhos em projetos de pesquisa, recebendo menção honrosa em três oportunidades. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), nível mestrado pela UNESP, Campus de Jaboticabal/SP em 2015, sendo orientada pelo Prof. Dr. Wanderley José de Melo.

"O excelente mestre não é o que mais sabe, mas o que mais tem consciência do quanto não sabe. Não é o que é viciado em ensinar, mas o mais ávido a aprender. Não é o que declara os seus acertos, mas o que reconhece suas limitações".

Augusto Cury

Dedico

A Deus por ter me guiado sempre.
À minha família, por acreditar e apoiar todas as minhas escolhas e decisões.

Ofereço

À minha mãe, por muitas vezes ter abdicado dos próprios sonhos para realizar os meus. Você é minha maior fonte de inspiração!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, proteção e sabedoria, por estar presente em meu coração em todos os dias de angústia e felicidade.

À minha família, por me ensinarem valores que jamais aprenderei em outro lugar. Por me inspirarem todos os dias a ser alguém melhor e terem paciência comigo nos dias mais difíceis. Em especial, a minha avó Yolanda, por ser o maior presente que Deus poderia me dar.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pela oportunidade e infraestrutura necessária a realização desse trabalho.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudos através do programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wanderley José de Melo, minha eterna gratidão por toda paciência, confiança, dedicação, ensinamento e amizade, mas acima de tudo, por demonstrar amor na ciência e nos fazer amá-la também.

Aos membros da Comissão Examinadora do Exame Geral de Qualificação e da banca de defesa, Prof. Dr. Wanderley José de Melo, Prof^{ra} Dr^a Marcela Midori Yada, Prof. Dr. Renato de Mello Prado e Prof. Dr. Celso Antonio Jardim, pelas valiosas contribuições, que refletiram na melhoria de meu artigo científico.

Aos amigos do laboratório de biogeoquímica: Rodrigo, Caio, Luana e Geize, pelo auxílio em diversos momentos durante a realização das análises laboratoriais e as diversas risadas que me proporcionaram.

Aos companheiros desta jornada de pós-graduação: Suelen, Greysiléia, Letícia, Riviane, Daniele e Lucas, por toda troca de conhecimento, companheirismo, amizade, compaixão, alegria e dedicação. Sou muito grata por tê-los em meu coração.

Em especial, aos meus amigos Denise, Antonio, Thaís e Danilo, que não mediram esforços para me auxiliar na realização deste trabalho, demonstrando companheirismo mesmo em dias quentes. Sem vocês, esse trabalho não teria sido possível. Muito obrigada!

Ao Rafael Pimentel, por apoiar toda mudança da minha vida e acreditar em meu potencial.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, em especial ao Marcelo e ao João, pela disposição na realização dos trabalhos de campo.

Ao professor Claudenir Franco, da FATEC Jaboticabal, por todo conhecimento compartilhado.

A todos os professores da FCAV pela oportunidade em ouvir seus ensinamentos e aprender a cada dia com a dedicação de vocês.

Aos colaboradores da seção técnica de pós-graduação.

A todos que diretamente e indiretamente contribuíram para eu conseguisse realizar este trabalho, MUITO OBRIGADA!



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CRAMBE CULTIVADO EM SUCESSÃO AO MILHO FERTILIZADO
COM LODO DE ESGOTO POR DEZOITO ANOS CONSECUTIVOS

AUTORA: ROBERTA SOUTO CARLOS

ORIENTADOR: WANDERLEY JOSÉ DE MELO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. WANDERLEY JOSÉ DE MELO
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. MARCELA MIDORI YADA
Departamento de Agronegócio / FATEC - Taquaritinga/SP

Prof. Dr. CELSO ANTONIO JARDIM
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / FATEC - Jaboticabal/SP

Jaboticabal, 04 de julho de 2017

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Crambe	2
2.2. Estado nutricional do crambe	3
2.3. Utilização do crambe na sucessão de culturas	5
2.4. Lodo de esgoto	6
2.5. Hipóteses e Objetivos	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1. Local do experimento	8
3.2. Histórico da área	9
3.3. Lodo de esgoto	10
3.4. Sementes	11
3.5. Instalação e condução do experimento	11
3.6. Amostragem de planta	12
3.7. Amostragem de grão.....	13
3.8. Extração óleo	13
3.9. Análise de macro e micronutrientes na planta	13
3.10. Análise estatística	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1. Acúmulo de nutrientes em plantas e teor de macro e micronutrientes em grãos de crambe	14
4.2. Produção de massa seca e teor de óleo	35
5. CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40

CRAMBE CULTIVADO EM SUCESSÃO AO MILHO FERTILIZADO COM LODO DE ESGOTO POR DEZOITO ANOS CONSECUTIVOS

RESUMO - O crambe tem se destacado no cenário bioenergético como uma opção na rotação de culturas para a safrinha, visando à produção de óleo e posteriormente de biodiesel. No entanto, pouco se sabe sobre suas necessidades nutricionais. Objetivou-se avaliar a resposta das plantas de crambe ao efeito residual da adubação orgânica com lodo de esgoto (LE) na produtividade agrícola, conteúdo de macro e micronutrientes nos grãos e na planta inteira, além do teor de óleo. O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho eutrófico (LVef), que recebeu 18 aplicações anuais de lodo de esgoto, no município de Jaboticabal-SP. Os tratamentos foram: 0 (controle, sem aplicação de LE e com fertilização mineral); 5 Mg ha⁻¹ LE; 10,0 Mg ha⁻¹ LE; e 20,0 Mg ha⁻¹ LE base seca. O crambe foi semeado em sucessão ao milho, cultura utilizada no ciclo 2014/2015, sem nova adubação. O acúmulo de nutrientes na planta inteira e a massa seca foram analisados em três épocas de amostragem (50, 64 e 78 dias após a semeadura - DAS), além da produtividade, porcentagem de óleo e concentração de nutrientes nos grãos. O acúmulo de N, P, B e Zn na planta inteira e a massa seca de crambe apresentaram diferença significativa entre os tratamentos somente aos 50 DAS, com valores maiores no tratamento de 10 Mg ha⁻¹ quando comparado ao tratamento controle. Para as demais variáveis analisadas, não houve diferença significativa em nenhuma época de coleta. A maior produção de massa seca ocorreu aos 78 DAS, atingindo 23,22 g kg⁻¹ na dose de 20 Mg ha⁻¹ LE. A porcentagem de óleo, que variou de 18,69 a 19,53%, e a produtividade de grãos, também não foram influenciadas pelos tratamentos. O estudo possibilitou verificar que a resposta à adubação com LE ou mineral, não influenciou em incremento no acúmulo dos nutrientes avaliados nas plantas e nos grãos do crambe. A qualidade de grãos de crambe quanto ao teor de óleo e a produtividade também não sofreram interferência das doses de LE utilizadas. Este trabalho mostrou que crambe é uma planta que pode ser aproveitada na rotação de culturas adubadas com LE.

Palavras-chave: bioenergia, nutrição mineral, resíduo orgânico, rotação de culturas

CRAMBE CULTIVATED IN SUCCESSION OF FERTILIZED CORN WITH SEWAGE SLUDGE FOR EIGHTEEN CONSECUTIVE YEARS

ABSTRACT – Crambe has stood out in the bioenergetic scenario as an option in the rotation of crops for the safrinha, aiming at the production of oil and later of biodiesel. However, little is known about their nutritional needs. The objective of this study was to evaluate the response of crambe plants to the residual effect of organic fertilization with sewage sludge (SS) on agricultural productivity, macro and micronutrient content in grains and whole plant, as well as oil content. The experiment was carried out in Eutroferic Red Latosol (LVef), which received 18 annual applications of sewage sludge, in the municipality of Jaboticabal-SP. The treatments were: 0 (control, without application of SS and with mineral fertilization); 5 Mg ha⁻¹ SS; 10.0 Mg ha⁻¹ SS; and 20.0 Mg ha⁻¹ SS dry basis. The crambe was sown in succession to corn, a crop used in the 2014/2015 cycle, with no new fertilization. The accumulation of nutrients in the whole plant and the dry mass were analyzed in three sampling times (50, 64 and 78 days after sowing - DAS), besides the productivity, percentage of oil and concentration of nutrients in the grains. The accumulation of N, P, B and Zn in the whole plant and the dry mass of crambe showed a significant difference between the treatments only at 50 DAS, with higher values in the treatment of 10 Mg ha⁻¹ when compared to the control treatment. For the other variables analyzed, there was no significant difference in any collection season. The highest dry mass production occurred at 78 DAS, reaching 23.22 g kg⁻¹ at the dose of 20 Mg ha⁻¹ SS. The percentage of oil, which varied from 18.69 to 19.53%, and grain yield, were also not influenced by the treatments. The study made it possible to verify that the response to SS or mineral fertilization did not influence the accumulation of nutrients evaluated in plants and crambe grains. The quality of crambe grains for oil content and yield also did not suffer interference from the doses of SS used. This work showed that crambe is a plant that can be harvested in the rotation of cultures fertilized with SS.

Keywords: bioenergy, mineral nutrition, organic waste, crop rotation

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Detalhamento dos anos agrícolas, cultura e lodo utilizado na área experimental na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da FCAV – Unesp Jaboticabal/SP	10
Tabela 2. Caracterização química do lodo de esgoto utilizado no 18º ano agrícola.	11
Tabela 3. Caracterização do solo após o plantio de milho cultivado com lodo de esgoto no 18º ano agrícola.	12
Tabela 4. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de nitrogênio em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de nitrogênio nos grãos aos 92 DAS	15
Tabela 5. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de fósforo em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de fósforo nos grãos aos 92 DAS	17
Tabela 6. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de enxofre em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de enxofre nos grãos aos 92 DAS	20
Tabela 7. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de cálcio em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de cálcio nos grãos aos 92 DAS.....	22
Tabela 8. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de magnésio em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de magnésio nos grãos aos 92 DAS	24
Tabela 9. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de potássio em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de potássio nos grãos aos 92 DAS	25
Tabela 10. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de boro em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de boro nos grãos aos 92 DAS.....	27
Tabela 11. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de ferro em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de ferro nos grãos aos 92 DAS.....	29

Tabela 12. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de cobre em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de cobre nos grãos aos 92 DAS.....	30
Tabela 13. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de manganês em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de manganês nos grãos aos 92 DAS	32
Tabela 14. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de zinco em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de zinco nos grãos aos 92 DAS.....	33
Tabela 15. Resumo de análise de variância e médias observadas para massa seca em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS)	36
Tabela 16. Resumo de análise de variância e médias observadas para porcentagem de óleo e produção de grãos de crambe submetido a diferentes doses de LE	38

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Precipitação, temperatura mínima e máxima na Fazenda Experimental localizada na FCAV – Unesp Jaboticabal durante o período de setembro a dezembro de 2015 (fonte: Estação Agroclimatológica da UNESP)... ..8
- Figura 2. Acúmulo de N (g planta^{-1}) em dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de nitrogênio na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 50 dias após a semeadura (DAS) (b)16
- Figura 3. Acúmulo de P (g planta^{-1}) em diferentes dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de fósforo na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 50 dias após a semeadura (DAS) (b) .18
- Figura 4. Acúmulo de S (g planta^{-1}) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto20
- Figura 5. Acúmulo de S (g planta^{-1}) na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 50 dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de S na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 64 dias após a semeadura (DAS) (b)21
- Figura 6. Acúmulo de Ca (g planta^{-1}) em diferentes dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de cálcio na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 78 dias após a semeadura (DAS) (b) .22
- Figura 7. Acúmulo de Mg (g planta^{-1}) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.25
- Figura 8. Acúmulo de K (g planta^{-1}) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto26
- Figura 9. Acúmulo de boro (mg planta^{-1}) em diferentes dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de boro na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 50 e 78 dias após a semeadura (DAS) (b)28
- Figura 10. Acúmulo de ferro (mg planta^{-1}) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.....29
- Figura 11. Acúmulo de Cu (mg planta^{-1}) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.....30

- Figura 12. Acúmulo de Mn (mg planta^{-1}) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.....32
- Figura 13. Acúmulo de Zn (mg planta^{-1}) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.....33
- Figura 14. Acúmulo de Zn na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto aos 50 dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de zinco (mg planta^{-1}) no grão de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto34
- Figura 15. Produção de massa seca (g planta^{-1}) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto36

1. INTRODUÇÃO

O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) é uma cultura oleaginosa da família Brassicaceae, que tem despertado interesse em vários produtores brasileiros, principalmente os da região Centro-Oeste, por apresentar várias características favoráveis à produção de óleo na safrinha. Atualmente no Brasil, as principais fontes de óleo para produção de biodiesel são provenientes de culturas anuais, principalmente de ciclo primavera/verão. O crambe, entretanto, pode ser cultivado no outono/inverno, o que permite continuidade à produção de óleo para indústria ou biodiesel (COLODETTI et al., 2013).

Além do potencial produtivo, o crambe, quando cultivado em sucessão, na rotação de culturas, ocupa áreas ociosas, o que contribui na melhoria do solo através da sua cobertura. Plantas da família Brassicaceae são utilizadas nessas condições por suportarem seca e baixas temperaturas, e por possuírem sistema radicular capaz de reciclar nutrientes (BELMONTE et al., 2016).

O conhecimento das necessidades nutricionais da cultura do crambe é essencial para o aumento da sua produtividade, visto que o rendimento adequado de sementes depende da fertilidade do solo (ROGÉRIO et al., 2013). Contudo, não existem recomendações específicas de adubação para o seu cultivo (ROGÉRIO et al., 2012; LUNELLI, 2011), e os estudos sobre sua fertilização para as condições do Brasil ainda são muito limitados e controversos (SORATTO et al., 2013).

Por ser considerada uma cultura de baixa exigência, sabe-se que o cultivo do crambe apresenta redução no uso de fertilizantes e água, quando comparada a outras oleaginosas (ROGÉRIO et al., 2013) e que quando cultivado em solos corrigidos, sua raiz pivotante e profunda contribui para o aproveitamento de adubações anteriores no sistema de rotação de culturas (BROCH; ROSCOE, 2010), mas ainda há muito que ser avaliado.

Além disso, em função das demandas por práticas agrícolas sustentáveis, o uso da fertilização do solo com resíduos orgânicos é uma nova forma de manejo. Desses resíduos, o lodo de esgoto (LE) se apresenta como um substituinte, ainda que parcial, dos fertilizantes minerais, pois é rico em nutrientes e material orgânico, contribuindo para a melhora da fertilidade do solo (NASCIMENTO et al., 2004; CAMARGO; BETTIOL, 2000).

Diante do exposto, trabalhou-se com a hipótese de que o crambe pode ser utilizado como cultura de sucessão para aproveitamento residual de fertilizante mineral e orgânico (lodo de esgoto) na produtividade, conteúdo de nutrientes e teor de óleo.

Objetivou-se avaliar a resposta das plantas de crambe em sucessão a cultura do milho, ao efeito residual da adubação orgânica com LE no teor de óleo da semente, produtividade agrícola, concentração de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu e Zn nos grãos e acúmulo na planta inteira.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Crambe

O crambe (*Crambe abyssinica*) é uma oleaginosa originária da região quente e seca da Etiópia, que foi domesticado na zona fria do Mediterrâneo (PITOL et al., 2010). No Brasil, seu cultivo foi introduzido na década de 1990 (FEROLDI et al., 2012), e mostrou-se uma alternativa promissora como fonte de matéria prima para a produção de óleo e de biocombustível, o biodiesel (PRATES et al., 2014). A espécie apresenta boa adaptação, rusticidade e precocidade, podendo ser utilizados em seu cultivo os mesmos equipamentos das culturas tradicionais para a produção de grãos (PITOL et al., 2010).

Pertencente à família Brassicaceae, da qual fazem parte plantas como mostarda (*Brassica campestris* L.), canola (*Brassica napus* L.) e nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.), o crambe possui ciclo anual de aproximadamente 90 dias, altura entre 70 e 90 cm, florescimento aos 35 dias após a semeadura e alta tolerância ao frio e a seca (PITOL et al., 2010).

O teor de óleo dos grãos de crambe varia entre 36 e 38%, e ele difere dos demais tipos de óleo pelo alto teor de ácido erúico (50-60%), que possui diversas aplicações industriais, como a produção de lubrificantes e nylon, adesivos, isolantes térmicos, entre outros (FALASCA et al., 2010). A torta resultante da extração do óleo é ainda um subproduto rico em proteína, com aminoácidos favoráveis a alimentação animal, fertilizante, biosorvente de corantes em soluções aquosas e produção de etanol (ONOREVOLI, 2012; OLIVEIRA; FRANCA, 2009; SOARES et al.).

Além do potencial produtivo, o óleo de crambe apresenta vantagens, como baixo ponto de fusão (-12° C), alta estabilidade oxidativa e maior biodegradabilidade

em comparação aos oriundos de petróleo (ONOREVOLI, 2012; DOLACK, 1996; PITOL et al., 2010).

O interesse pela produção de biodiesel do óleo de crambe se dá pelas diversas vantagens que a cultura oferece com destaque para o fato de que as principais fontes de óleo para produção de biodiesel no Brasil são provenientes de culturas anuais, principalmente de ciclo primavera/verão. O crambe, entretanto, tem ciclo curto e pode ser cultivado no outono/inverno, permitindo dar continuidade à produção de biodiesel nessa época (COLODETTI et al., 2012).

Além disso, diferentemente do óleo de soja, em que cerca de 75,2% da produção nacional é destinada ao consumo humano (BRASIL, 2016), o óleo de crambe é tóxico e não pode ser destinado a produção de óleo comestível (SANTOS, 2015), o que não acarreta em conflito entre o setor alimentício e o de produção de biocombustível.

Outra vantagem do crambe é a tolerância para cultivo em áreas contaminadas com metais pesados. Alguns estudos demonstram sua capacidade de fitorremediar solos, sedimentos e águas residuais contaminados com elementos como: cromo (Cr) (ZULFIQAR et al., 2011), arsênio (As) (PAULOSE; KANDASAMY; DHANKHER, 2010), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) (GONÇALVES JÚNIOR et al., 2013).

2.2. Estado nutricional do crambe

O conhecimento acerca da nutrição da cultura do crambe é essencial para o aumento da sua produtividade.

Sabe-se que o crambe é sensível à acidez do solo, tendo sua produção reduzida em Latossolos do Cerrado (CARVALHO et al., 2012), e que a saturação por bases (V%) ótima para o seu cultivo é de 50% (ALVES et al., 2015), mas não existem recomendações específicas de adubação (ROGÉRIO et al., 2012; LUNELLI, 2011), por isso, permanecem dúvidas sobre as necessidades de nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) para a cultura, assim como sobre a extração e a exportação de nutrientes pelo crambe (SORATTO et al., 2013).

O fósforo é um nutriente com recurso não renovável, por isso o seu aproveitamento na agricultura de forma consciente é necessário para garantir sustentabilidade (ARAUJO; MACHADO, 2006). Na planta, o elemento é essencial

para os processos de transferência e armazenamento de energia, fotossíntese, síntese proteica, herança, fixação biológica do N, dentre outros (PRADO, 2008).

O estudo da adubação com P em crambe é importante, visto que este nutriente pode influenciar na produção de óleo. Rogério et al. (2013) observaram que ao adicionar doses de adubo fosfatado na semeadura do crambe houve maior produção de grãos e maior produção de óleo por hectare.

Para o crambe, no sistema de plantio direto, a maior taxa de liberação de macronutrientes ocorre em torno dos 15 dias após o manejo da fitomassa, sendo o P, K e magnésio (Mg) os nutrientes mais rapidamente liberados (HEINZ et al., 2011).

O Mg, dentre suas várias funções no metabolismo das plantas, destaca-se sua atuação na clorofila, como constituinte. A deficiência deste nutriente acarreta diminuição da fotossíntese, além de afetar outros processos como respiração e armazenamento de energia (PRADO, 2008).

De maneira geral, os solos brasileiros, devido ao intemperismo, são pobres em potássio, fazendo com que este nutriente seja, depois do fósforo, o mais consumido na agricultura do País. O potássio é um importante ativador enzimático, e sua deficiência pode comprometer funções como a síntese proteica, provocando acúmulo de aminoácidos básicos nas plantas (PRADO, 2008). Estudo realizado em latossolo com boa disponibilidade de K, Belmonte et al. (2016) não encontraram incrementos significativos nas características morfológicas e nos componentes de produção de crambe quando utilizado doses de K_2O (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹). O comportamento foi justificado pelo teor de K do solo ter sido suficiente para a cultura, segundo os autores.

O N está na maior parte no solo na forma orgânica, como parte da matéria orgânica do solo (MOS), funcionando como estoque de grande relevância para a fertilidade do solo (CANTARELLA, 2007). Mesmo em solos com alto teor de MOS, o crambe apresenta tendência de resposta conforme a maior disponibilidade de N no sistema (BROCH; RANNO; ROSCOE, 2010). Alves et al. (2015) verificaram que o N influencia no desenvolvimento da raiz e planta, e produtividade de crambe em Latossolo Vermelho distrófico.

Em solos com teor de P e zinco (Zn) baixo ou moderadamente baixo, foi observada resposta à adubação com P na massa seca e concentração do nutriente nas plantas de crambe. Para o Zn, a resposta foi considerada moderada, não se obtendo diferença entre os tratamentos (CIHACEK; CARCOANA; JACOBSON,

1993). Segundo Cihacek et al. (1993), o crambe parece ser uma espécie exigente em P, no entanto, os autores não conseguiram verificar uma conclusão clara sobre a capacidade de resposta do crambe para Zn. Este micronutriente é muitas vezes limitante para algumas culturas pela sua baixa concentração nos solos, mas sua disponibilidade para as plantas é importante, visto que ele participa de processos como a síntese proteica (PRADO, 2008).

Assim como o nitrogênio, a principal fonte de B no solo é a matéria orgânica. Sua participação no metabolismo das plantas inclui ativador de várias enzimas e constituinte da parede celular, e sua deficiência pode gerar inibição do crescimento da parte aérea e raízes, folhas deformadas e engrossadas (PRADO, 2008). Ao avaliar a resposta do crambe à adubação com boro em dois Latossolos (um com textura média e outro argiloso), Santos (2015) observou que o número de frutos por planta, a produção de massa seca de raízes, caule e frutos foram maiores com a aplicação de 1 mg kg^{-1} de B no solo.

2.3. Utilização do crambe na sucessão de culturas

A descoberta do crambe como fonte de óleo vegetal fez com que os estudos sobre seu potencial fossem direcionados para sua utilização como matéria prima para produção de biodiesel, mas até pouco tempo, o crambe era utilizado somente como forrageira na rotação de culturas e coberturas de solos (VARISCO; SIMONETTI, 2012), uma vez que sua implantação possibilita a ocupação de áreas ociosas durante o inverno por se tratar de uma cultura deste período (COSTA, 2015).

Para a escolha de espécies vegetais utilizadas na rotação de culturas é necessário que dois pontos sejam considerados: exploração comercial ou cobertura do solo e adubação verde. Para estas funções, destacam-se apropriadas plantas forrageiras, gramíneas e leguminosas (MARUCCI, 2007).

Plantas da família Brassicaceae, como o crambe, são utilizadas na rotação de cultura por suportarem a seca, baixas temperaturas e possuem um sistema radicular capaz de reciclar nutrientes de forma eficiente, tornando-os prontamente disponíveis para a cultura, mostrando grande potencial de exploração de fertilização de resíduos das culturas anteriores (BELMONTE et al., 2016).

Estudando a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro, Heinz et al. (2011) observaram que o crambe, além de proporcionar maior liberação dos nutrientes no período inicial, possui estabilidade de liberação por maior período de tempo, o que poderia proporcionar melhor aproveitamento dos nutrientes pela próxima cultura.

2.4. Lodo de esgoto

O tratamento adequado de esgoto resulta na produção de um lodo, denominado lodo de esgoto (LE), rico em nutrientes e matéria orgânica, que pode substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais utilizados para aumentar a fertilidade do solo e a produção agrícola (NASCIMENTO et al., 2004; CAMARGO; BETTIOL, 2000). O lodo é um biofertilizante potencial, pois proporciona efeitos benéficos no solo que os fertilizantes químicos não forneceria (QUINTANA; CARMO; MELO, 2011), como a melhora da agregação (LIU, 2016) e aumento do teor de carbono no solo.

Dentre as práticas mais adotadas para a utilização do LE, a agrícola como fertilizante tem sido considerada promissora por apresentar baixo custo e impacto ambiental quando comparado aos outros métodos de disposição (RIGO et al., 2014; RIBEIRINHO et al., 2012; GALDOS; MARIA; CAMARGO, 2004). Estratégias para a destinação final do LE têm sido tradicionalmente baseadas em razões como custo, reguladoras ambientais e aceitação pública (CHEN et al., 2012).

No Brasil, embora não seja uma prática popular, a aplicação de lodo de esgoto no solo tem sido vista como uma alternativa encorajadora para a gestão deste resíduo (KRZYZANOWSKI JÚNIOR et al., 2016), e diversos estudos são realizados para garantir sua utilização de forma segura.

A utilização de LE possibilita a adição de grandes quantidades de substâncias biogênicas no solo, principalmente carbono, nitrogênio e fósforo. O nitrogênio normalmente é o elemento mais exigido pelas plantas, e presente em grande escala no LE na forma orgânica. Para assegurar sua utilização em áreas agrícolas, a Resolução CONAMA 375/2006 estabelece que as doses do LE atendam as necessidades de N das plantas, de forma que o manejo não implique em excesso de nitrato.

Adicionar materiais orgânicos no solo, como restos culturais, adubos verdes e orgânicos faz com que haja um desequilíbrio nos processos de mineralização e imobilização de N no solo, que vai depender da relação C/N do material (CANTARELLA, 2007), por isso deve ser usado com cautela.

Além do C e N, o LE normalmente contém grandes quantidades de fósforo. Este elemento é um nutriente não renovável que pode se tornar escasso e comprometer a segurança alimentar. Recuperá-lo através da aplicação de LE de forma sustentável é mais um motivo para a sua utilização na agricultura (CHEN et al., 2012).

Embora contenha diversos nutrientes, o lodo, de maneira geral, é deficiente em potássio, sendo necessária a suplementação mineral deste nutriente quando utilizado somente o lodo como adubo (BARBOSA et al., 2007), caso contrário, poderá prejudicar a produtividade, como observado por Junio et al. (2012) no efeito residual do LE em plantas de milho. Apesar disso, estudos sobre o efeito residual na produtividade de milho safrinha e soja em Latossolos, demonstraram que sua utilização como fertilizante é superior aos fertilizantes minerais (BARBOSA et al., 2007; LEMAINSKI; SILVA, 2006).

As características do lodo, entretanto, podem variar sua composição química, física e biológica conforme o tratamento empregado e os hábitos da população e infraestrutura urbana (RIGO et al., 2014). O LE pode conter inúmeros contaminantes orgânicos e produtos farmacêuticos em diversas concentrações, visto que estes produtos químicos são encontrados em águas residuais domésticas (LIU, 2016), mas o estudo sobre suas formas de utilização correta traz diversos benefícios ao ambiente e à população.

2.5. Hipóteses e Objetivos

Diante do exposto, surge a hipótese de que o lodo de esgoto aplicado anualmente por 18 anos poderia funcionar como uma fonte de fertilizante de liberação lenta para fornecer nutrientes ao crame utilizado em sucessão à cultura do milho.

O objetivo deste estudo foi avaliar a resposta das plantas de crame ao efeito residual da adubação com lodo de esgoto na produtividade agrícola, concentração

de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu e Zn nos grãos e acúmulo na planta inteira e teor de óleo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi instalado nas parcelas de um experimento de longa duração (1997-2015), em Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) localizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, campus de Jaboticabal, no município de Jaboticabal-SP (21°15'17" S, 48°19'20" W, 605 m de altitude), com clima tropical chuvoso e inverno seco (Aw) segundo Koppen.

Durante o período em que o experimento estava instalado, obteve-se a precipitação pluvial média, temperatura mínima e máxima obtida mensalmente do banco de dados do acervo da Estação Agroclimatológica da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, campus de Jaboticabal (Figura 1).

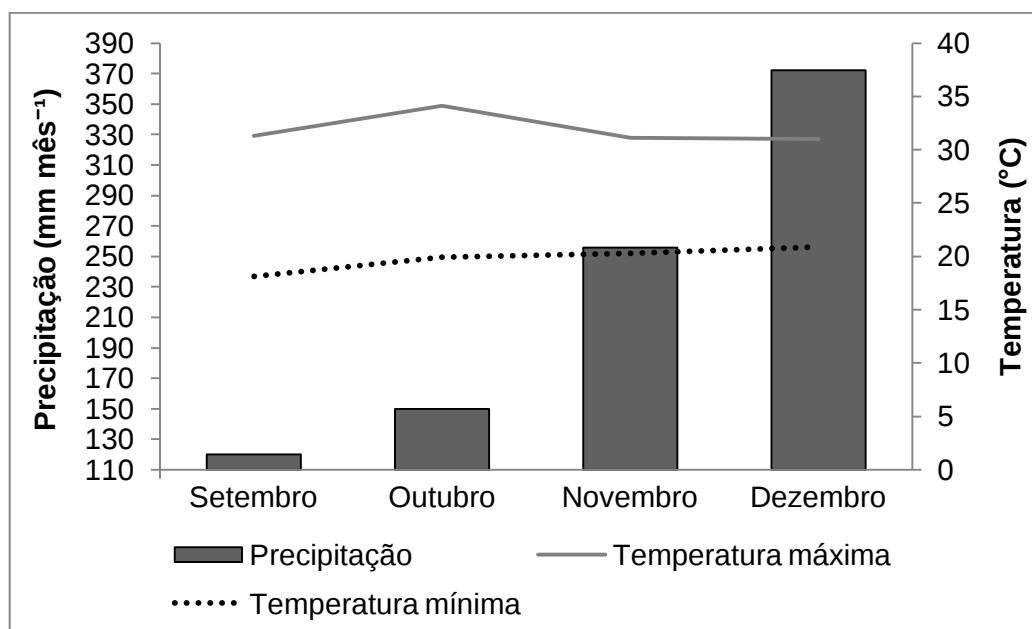


Figura 1. Precipitação, temperatura mínima e máxima obtida na Fazenda Experimental localizada na FCAV – Unesp Jaboticabal durante o período de setembro a dezembro de 2015 (fonte: Estação Agroclimatológica da UNESP).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC) com

quatro tratamentos e cinco repetições, em parcelas de 60 m² (6 x 10 m). No 18º ano agrícola utilizaram-se duas culturas: milho e crambe em sucessão.

3.2. Histórico da área

No primeiro ano os tratamentos utilizados foram: T1= Controle, sem adição de LE e sem fertilização; T2=2,5 Mg ha⁻¹ de LE base seca; T3= 5 Mg ha⁻¹ de LE; T4= 10 Mg ha⁻¹ de LE. A dose 5 Mg ha⁻¹ foi estabelecida para fornecer todo o N exigido pela cultura do milho (RAIJ et al., 1997), admitindo-se que 1/3 do N contido no LE seria disponível para as plantas.

A partir do segundo ano agrícola (1998/1999), optou-se por fertilizar o tratamento controle de acordo com a análise de fertilidade do solo e as indicações contidas no Boletim 100 (RAIJ et al., 1997). A partir do terceiro ano (1999/2000), com base nos resultados até então obtidos, optou-se por transformar a dose do tratamento T2 de 2,5 para 20 Mg ha⁻¹ LE base seca, com a finalidade de aumentar a adição de componentes tóxicos. Assim, os tratamentos utilizados no ano agrícola 2014/2015 foram: controle, 0 Mg ha⁻¹ LE e com fertilização mineral; 5 Mg ha⁻¹ LE; 10,0 Mg ha⁻¹ LE; e 20,0 Mg ha⁻¹ LE base seca.

O histórico de culturas cultivadas na área experimental é apresentado na tabela 1. O ano agrícola 2015 foi o primeiro a ter um cultivo no ciclo primavera.

Tabela 1. Detalhamento dos anos agrícolas, cultura e lodo utilizado na área experimental na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da FCAV – Unesp Jaboticabal/SP.

Ano Agrícola	Cultura	Estação de Tratamento de Esgoto fornecedora do LE
1996/1997	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Barueri/SP
1997/1998	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Barueri/SP
1998/1999	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Barueri/SP
1999/2000	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Barueri/SP
2000/2001	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Barueri/SP
2001/2002	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Barueri/SP
2002/2003	Girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Barueri/SP
2003/2004	Crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.)	Barueri/SP
2004/2005	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Barueri/SP
2005/2006	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Franca/SP
2006/2007	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Franca/SP
2007/2008	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Barueri/SP
2008/2009	Girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Barueri/SP
2009/2010	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Barueri/SP
2010/2011	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Monte Alto/SP
2011/2012	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Monte Alto/SP
2012/2013	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Monte Alto/SP
2013/2014	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Monte Alto/SP
2014/2015	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	Franca/SP
2015/2015	Crambe (FMS Brilhante)	-

3.3. Lodo de esgoto

No ano agrícola 2014/2015, o LE foi obtido na Estação de Tratamento e Recuperação de Águas da SABESP, situada na cidade de Franca-SP. Para caracterização química do LE foi coletado uma amostra composta do material recém-chegada da estação de tratamento, seco a 60 °C e moído (Tabela 2).

O N foi determinado pelo método de Kjeldahl (MELO, 1974); o P em extrato nitroperclórica por espectrofotometria (MALAVOLTA et al., 1997); o K, por fotometria de chama (SARRUGE; HAAG, 1974); e os demais elementos, por espectrofotometria de absorção atômica no extrato da digestão com $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 +$

HCl, segundo método 3050b (USEPA, 1996).

Tabela 2. Caracterização química do lodo de esgoto utilizado no 18º ano agrícola.

N		P		K		Ca		Mg		S					
----- g kg ⁻¹ -----															
33		47		4		11		3		1,54					
Fe		Mn		Zn		Cu		Pb		Ba		Cr		Cd	
----- mg kg ⁻¹ -----															
15340		213		500		165		38		78		159		0,94	

3.4. Sementes

As sementes foram obtidas da Fundação MS, localizada no estado do Mato Grosso do Sul. Não houve nenhum tratamento nas sementes utilizadas no experimento.

3.5. Instalação e condução do experimento

Em setembro de 2014, utilizou-se calcário (PRNT = 65%) para elevar a saturação por base em 70% em todos os tratamentos do experimento antes do plantio do milho. A aplicação foi feita a lanço em quantidades 1,50 Mg ha⁻¹ para T0; 0,84 Mg ha⁻¹ para T5; 1,43 Mg ha⁻¹ para T10 e 1,87 Mg ha⁻¹ para T20.

A aplicação do LE no solo foi realizada em dezembro de 2014, a lanço, com umidade provinda da ETE. Em seguida, o resíduo foi incorporado ao solo por meio de gradagem leve à cerca de 10 cm de profundidade.

Dois dias após a aplicação do lodo foi realizada a semeadura do milho (*Zea mays* L.). No tratamento controle, foi realizada adubação mineral, manualmente nos sulcos de semeadura, da seguinte maneira: a adubação de fundação foi realizada aplicando-se 30 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio), 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 50 kg de K₂O (cloreto de potássio). Para os tratamentos que receberam LE, foi necessário complementar a adubação potássica com 28,5 e 7 kg ha⁻¹ de K₂O para as doses de 5 e 10 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Foi realizada uma adubação nitrogenada e potássica de cobertura, aplicando-se, 140 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio) no tratamento que recebeu apenas fertilização mineral (controle) e 40 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) em todos os tratamentos (controle e doses de LE).

O milho atingiu maturação fisiológica em maio de 2015.

A caracterização da área antes do plantio de crambe foi realizada através da amostragem de solo na profundidade 0-20 cm para análise de fertilidade (Tabela 3). Os resultados demonstraram valores alto de P para os tratamentos 0 e 5 Mg ha⁻¹ LE e muito alto para os tratamentos 10 Mg ha⁻¹ e 20 Mg ha⁻¹. Para K e a acidez do solo, as concentrações foram consideradas médias e altas para todos os tratamentos, respectivamente. A saturação por bases (V%) variou entre baixa no tratamento 20 Mg ha⁻¹, e média para os demais. Ca, Mg e S apresentaram altos teores para todos os tratamentos (Raij et al., 1997).

Tabela 3. Caracterização do solo após o plantio de milho cultivado com lodo de esgoto no 18º ano agrícola.

Tratamentos	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P -----mg dm ⁻³ -----	S	V%	m%	
					-	-	
0 Mg ha ⁻¹	4,72	26,8	56	78,6	52,2	1,4	
5 Mg ha ⁻¹	4,64	27,4	57,2	118	57,2	1,4	
10 Mg ha ⁻¹	4,48	28	98	102,4	55,8	1,2	
20 Mg ha ⁻¹	4,54	31,6	156,2	123,6	49,2	2,6	
Tratamentos	Ca	Mg	K	Al	H+Al (SMP)	SB	CTC
	-----mmol _c dm ⁻³ -----						
0 Mg ha ⁻¹	31	11,8	2,7	0,6	41,2	45,58	86,86
5 Mg ha ⁻¹	35,2	12,8	2,34	0,8	37,2	50,3	87,6
10 Mg ha ⁻¹	37,6	14,6	3,06	0,6	43,4	55,16	98,58
20 Mg ha ⁻¹	35,4	12,8	2,66	1,4	52	50,72	102,72

Em 14 de setembro de 2015, iniciou-se a implantação da cultura de crambe, cultivar FMS Brilhante. O crambe foi plantado após gradagem leve na área, sem nova aplicação de LE ou fertilizante mineral, com densidade 48 plantas m², profundidade de 2 cm e 20 cm de espaçamento entre linhas.

Para o controle de plantas daninhas a remoção se deu de forma manual.

3.6. Amostragem de planta

Aos 50 dias após a semeadura (DAS), iniciou-se a coleta das amostras de planta para análise dos nutrientes e dados de massa seca. Foram coletadas três plantas inteiras por parcela, de forma aleatória, e assim, seguiu-se quinzenalmente até os 78 DAS, totalizando três épocas de amostragem.

As plantas ao chegarem ao laboratório, foram lavadas, identificadas e colocadas para secar em sacos de papel perfurados em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura de 65 °C até a obtenção de massa constante. Depois de secas, foram pesadas para determinação da matéria seca, moídas em moinho tipo Willey equipado com facas de inox e peneira de 40 mesh, acondicionadas em sacos de polietileno devidamente identificados e armazenadas em câmara seca até a realização das análises.

3.7. Amostragem de grão

Para obtenção dos grãos, todas as plantas de cada parcela foram retiradas de modo manual no final do ciclo, aos 92 DAS. Desconsiderou-se 1 m da bordadura no início e final da parcela. Após a colheita, foi realizado debulha e limpeza dos grãos com ajuda de peneiras. Os grãos limpos foram pesados, aplicou-se a correção de umidade à 13%, e o rendimento determinado.

3.8. Extração óleo

A extração do óleo foi feita de acordo com a metodologia proposta pelo IAL - Instituto Adolfo Lutz (1985), com extração pelo aparelho de Soxhlet utilizando éter como solvente. Foram realizadas duas extrações com grão moído, totalizando 15 g. Após a extração, o balão foi colocado em estufa a 105 °C por uma hora para eliminação do éter. Por diferença de peso, foi possível obter o teor de óleo, em porcentagem.

3.9. Análise de macro e micronutrientes na planta

A análise de nitrogênio foi realizada pelo método de Kjeldahl (MELO, 1974). Para a determinação dos demais teores de macro e micronutrientes contidos nas plantas foi utilizado os métodos descritos em Bataglia et al. (1983).

Os teores de fósforo, enxofre e boro foram determinados por espectrofotometria. Os teores de potássio foram determinados por fotometria de chama, e para cálcio, magnésio, cobre, manganês, ferro e zinco foram utilizadas espectrofotometria de absorção atômica.

O acúmulo de macro (g/planta) e micronutrientes (mg/planta) foi calculado pelas seguintes expressões:

$$Ac. \text{ macro } \left(g \frac{\text{nutriente}}{\text{planta}} \right) = MS \text{ da planta } \left(\frac{g}{Kg} \right) \times Conc. \text{ nutriente } \left(\frac{g}{Kg} \right) / 1000$$

$$Ac. \text{ micro } \left(mg \frac{\text{nutriente}}{\text{planta}} \right) = MS \text{ da planta } \left(\frac{g}{Kg} \right) \times Conc. \text{ nutriente } \left(\frac{mg}{Kg} \right) / 1000$$

3.10. Análise estatística

Os efeitos das doses residuais de lodo de esgoto sobre os valores das variáveis foram avaliados por meio de análise de variância com teste “F” (FERREIRA, 1991). Foi necessário realizar transformação de dados pelo método $\sqrt{x + 0,5}$ para todas as variáveis analisadas. Como as doses de lodo de esgoto são de natureza quantitativa, realizou-se análise de regressão linear e polinomial quadrática, visando explicar através de modelos matemáticos, o efeito da adubação com lodo em cada variável estudada. Aplicou-se também o teste de comparação de médias (teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade).

Para análise estatística foi utilizado o programa SISVAR® (FERREIRA, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Acúmulo de nutrientes em plantas e teor de macro e micronutrientes em grãos de crambe

Para o acúmulo de N nas plantas de crambe durante as três épocas de amostragem, houve diferença significativa apenas entre o tratamento de 10 Mg ha⁻¹ e o controle, aos 50 DAS, com maior acúmulo de N (0,17 g planta⁻¹) na dose de 10 Mg ha⁻¹ (Tabela 4). Após os 64 DAS, com exceção do tratamento de 5 Mg ha⁻¹ LE, o acúmulo de N nas plantas diminuiu (Figura 2a).

Tabela 4. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de nitrogênio em plantas de crambe submetido a doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de nitrogênio nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,01 *	0,02 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,10 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,00 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,02 ^{NS}	12,36 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,01 *	0,01 ^{NS}	0,00 ^{NS}	13,63 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,00 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,00 ^{NS}	14,17 ^{NS}
Bloco	4	0,00 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,04 ^{**}	0,10 ^{NS}
Resíduo	12	0,00	0,02	0,00	0,10
CV (%)		13,60	22,40	9,70	5,29
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		g planta⁻¹		g kg⁻¹	
0		0,10 b	0,42 a	0,42 a	34,27 a
5		0,13 ab	0,42 a	0,46 a	35,10 a
10		0,17 a	0,57 a	0,47 a	32,85 a
20		0,14 ab	0,55 a	0,51 a	36,77 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento de N até os 64 DAS, com exceção do tratamento 5 Mg ha⁻¹, pode estar relacionado à necessidade da planta em relação ao nutriente pela fase de crescimento vegetativo pois, em geral, as culturas absorvem inicialmente mais N e posteriormente o nutriente é translocado para o grão. Em função do ajuste quadrático dos dados, observa-se que 14,12 Mg ha⁻¹ de LE proporcionou um acúmulo de 0,17 g planta⁻¹ de N (Figura 2b).

A utilização de fertilizantes organo-minerais, LE equilibrado com nutrientes, aumenta a eficiência na captação de N em culturas como milho, canola, trigo, feijão e cevada, apesar de ser uma fonte orgânica, conforme observado por Deeks et al. (2013). Os autores atribuem o fato pela melhora da fertilidade do solo possivelmente associada com o aumento da atividade microbiana, que auxilia na mineralização de nutrientes, já que cerca de 95% ou mais do N no solo faz parte da matéria orgânica (Raij et al., 1997).

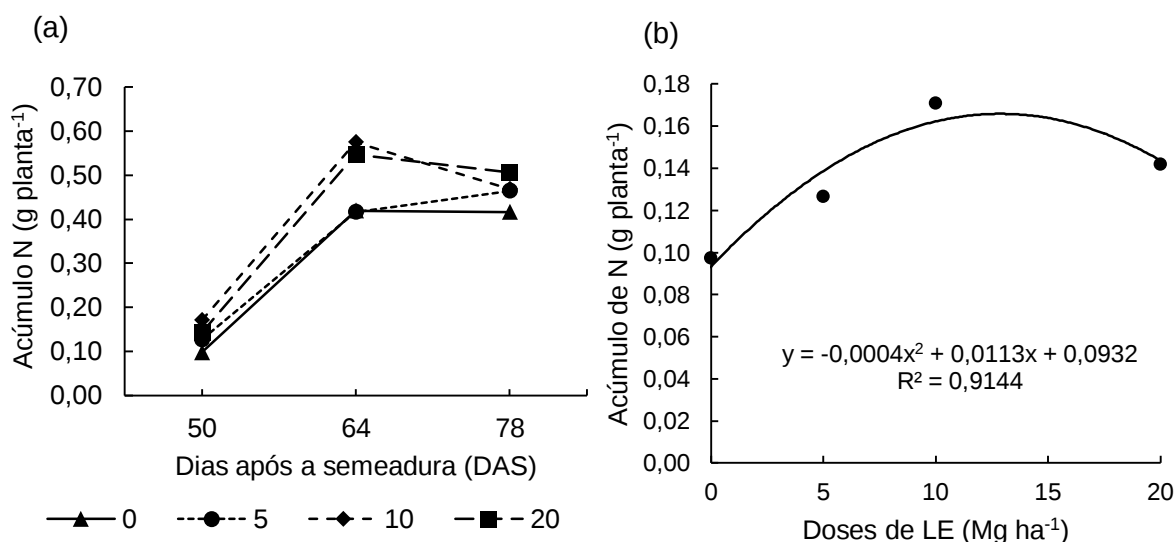


Figura 2 – Acúmulo de N (g planta⁻¹) em diferentes dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de nitrogênio na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 50 dias após a semeadura (DAS) (b).

O aumento do acúmulo de N em plantas de crambe pode ter sido resultante do N residual e da decomposição e mineralização de material orgânico da cultura anterior, como visto por Bañuelos, Sharmasarkar e Pasakdee (2004) em cultivo de canola. Corroborando, aplicações sucessivas do LE proporcionam maior eficiência na disponibilidade de N em longo prazo por possibilitar aumento de N potencialmente mineralizável, conforme observado por Pires et al. (2015).

Ao avaliar os teores foliares de N em crambe aos 96 DAE irrigados com água potável, Louzada (2016) observou que houve diferença significativa entre os tratamentos empregados. Os teores de N foliares foram inferiores nos tratamentos que receberam aplicação de lodo de esgoto (5,00 g kg⁻¹) quando comparado aos tratamentos que não receberam (8,75 g kg⁻¹), diferentemente do que ocorreu no presente estudo com planta inteira.

As concentrações de N em grãos de crambe não demonstraram diferenças significativas entre as doses utilizadas, sendo que na dose 20 Mg ha⁻¹ LE foi encontrada a concentração de 36,77 g planta⁻¹ (Tabela 4). Este resultado demonstra que a utilização deste resíduo como fonte de nutrientes pode ser eficaz, igualando-se ao teor do nutriente oriundo da adubação convencional. Porém, a vantagem do emprego do LE como fertilizante se dá pela inserção de práticas agrícolas sustentáveis e redução de custos com a aquisição de adubos.

Ao avaliar concentrações de N nos grãos de crambe cultivados com adubação mineral, Mauad et al. (2013) obtiveram valores que variaram de 14,4 a 19,1g kg⁻¹, abaixo do encontrado neste estudo, que atingiu 36,76 g kg⁻¹ na dose de 20 Mg ha⁻¹.

Krzywy et al. (2015) estudando a composição de fertilizantes granulados com lodo de esgoto, verificaram que a concentração de N nos grãos de canola variou de 28,3 a 35,3 g kg⁻¹, valores próximos ao encontrado na presente pesquisa.

Para o acúmulo de P nas plantas de crambe durante as 3 épocas de amostragem, é possível notar que houve diferença significativa entre os tratamentos apenas aos 50 DAS (Tabela 5), com maior concentração do nutriente na dose 10 Mg ha⁻¹ LE quando comparado ao tratamento controle. Aos 50 DAS houve também significância na regressão linear (Figura 3b).

Tabela 5. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de fósforo em plantas de crambe submetido doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de fósforo nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,00 *	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,05 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,00 *	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	1,43 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,86 ^{NS}
Des. de Reg.	2	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,36 ^{NS}
Bloco	4	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,01 **	0,02 ^{NS}
Resíduo	12	0,00	0,00	0,00	0,05
CV (%)		14,60	21,00	14,00	10,64
Doses de LE (Mg ha ⁻¹)		g planta ⁻¹			g kg ⁻¹
0		0,01 b	0,04 a	0,05 a	4,43 a
5		0,01 ab	0,05 a	0,05 a	4,69 a
10		0,02 a	0,07 a	0,06 a	5,37 a
20		0,01 ab	0,06 a	0,06 a	5,11 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É possível verificar que o resíduo forneceu quantidades de P suficiente para que ocorresse o acúmulo crescente até os 64 DAS, fase considerada de florescimento, mantendo-se estável até os 78 DAS. Após este período, com a entrada na fase de senescência da cultura, é comum a translocação do P pra os grãos a fim de garantir a perpetuação da espécie (Figura 3a).

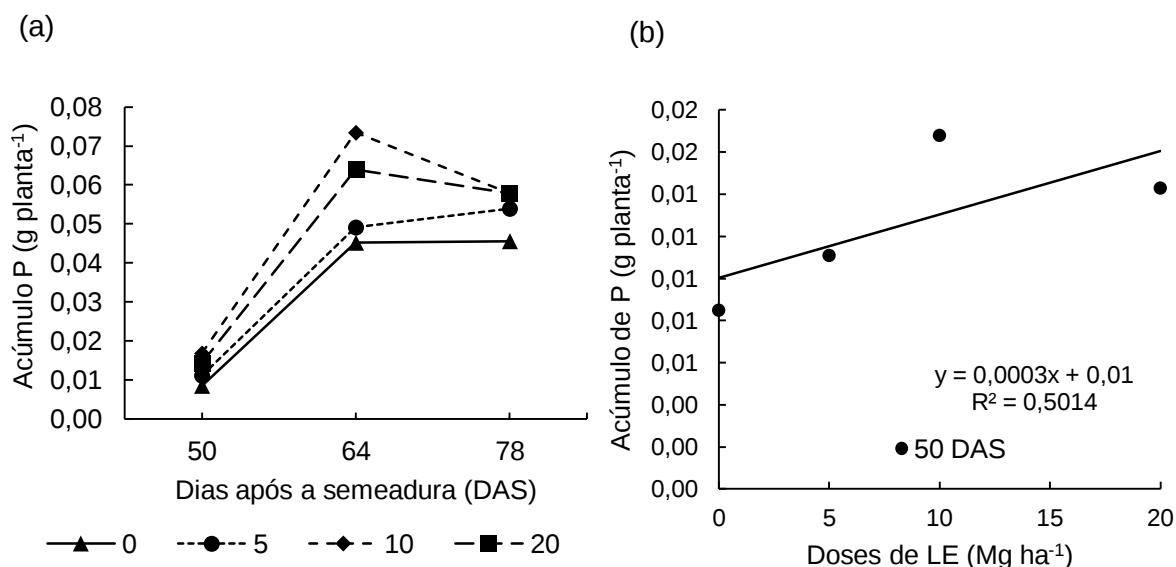


Figura 3 – Acúmulo de P (g planta⁻¹) em diferentes dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de fósforo na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 50 dias após a semeadura (DAS) (b).

Estudo realizado em abril por Mauad et al. (2013) em Dourados (MS), os autores verificaram acúmulo máximo de P em crambe aos 59 DAE, com um total de 26,85 mg planta⁻¹. Segundo os autores, este resultado confirma a grande necessidade de P no período de florescimento do crambe para a formação dos frutos.

Ao estudar os efeitos depois de treze anos da aplicação de 300 Mg ha⁻¹ LE no solo sobre o fornecimento de P em canola, Shaheen e Tsadilas (2013) verificaram que mesmo após tanto tempo, o lodo de esgoto continuou a fornecer P em quantidades suficientes capaz de suprir desenvolvimento da cultura, proporcionando aumento do crescimento da planta e o rendimento da biomassa. Sugere-se que efeito similar possa ter ocorrido no presente trabalho, visto a aplicação de LE por 18 anos consecutivos.

Analisando doses de P na cultura do crambe, Rogério et al. (2013) observaram que doses mais elevadas do nutriente resultaram em aumento de rendimentos de grãos. Tal fato pode ter ocorrido em função do P aumentar o rendimento das culturas, como parte da produção de ATP (MALAVOLTA et al., 1997). Os autores, entretanto, não observaram influência do fósforo no teor de óleo do crambe, assim como Vazquez et al. (2014) estudando doses de fósforo e Zenatti et al. (2012) estudando doses de NPK.

Os teores foliares de P em crambe aos 96 DAE apresentaram diferenças, entre os tratamentos de acordo com Louzada (2016), sendo as maiores médias obtidas nas parcelas que receberam aplicação de LE como fonte de adubação alternativa à adubação mineral. A diferença com este estudo pode ser devido ao cultivo de plantas em solos pobres em P apresentar melhor resposta à aplicação de lodo do que em solos ricos em P (LASSEN et al., 1984). Do mais, em função do tempo de aplicação de LE o solo pode apresentar maior teor do nutriente adsorvido à fração mineral e as frações orgânicas.

Quanto à concentração de P nos grãos de crambe, nota-se que não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 5). No solo, entretanto, antes da instalação do experimento, valores de concentrações de P muito superiores foram encontrados nos tratamentos que receberam a aplicação de 20 Mg ha⁻¹ LE (Tabela 3). Esse resultado reforça que fornecimento do nutriente via adubação com LE é eficiente em prover nutrição da planta, igualmente as parcelas que receberam adubação mineral.

Estudando a composição de fertilizantes granulares com lodo de esgoto Krzywy et al. (2015) verificaram que as concentrações de P nos grãos de canola variaram entre 5,31 a 5,95 g kg⁻¹, valores próximos aos encontrados no presente estudo nas maiores doses de LE utilizadas. Isso pode ter ocorrido em função da composição do resíduo e da taxa de mineralização dos nutrientes nele contidos.

Nota-se que não houve diferença entre os tratamentos quanto ao acúmulo de S nas plantas de crambe durante as três épocas de amostragem (Tabela 6). De acordo com os estudos de regressão, verifica-se que o acúmulo de S diminuiu em função do aumento das doses de lodo de esgoto aos 50 e 64 DAS (Figura 5).

A adubação mineral do tratamento controle foi realizada com sulfato de amônio e as parcelas tratadas com LE recebem S provindo apenas do resíduo. Supondo que a velocidade de mineralização do S existente no lodo tenha sido mais lenta, e assim o teor de S existente no solo menor, as plantas de crambe dos tratamentos com LE teriam absorvido menor quantidade do nutriente em função da menor disponibilidade do mesmo.

Tabela 6. Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de enxofre em plantas de crambe submetido a doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de enxofre nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,00 [*]	0,00 [*]	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Des. de Reg.	2	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Bloco	4	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Resíduo	12	0,00	0,00	0,00	0,00
CV (%)		3,50	3,10	11,10	3,40
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		g planta⁻¹		g kg⁻¹	
0		0,03 a	0,02 a	0,01 a	0,03 a
5		0,02 a	0,02 a	0,01 a	0,03 a
10		0,02 a	0,02 a	0,01 a	0,04 a
20		0,02 a	0,02 a	0,01 a	0,03 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

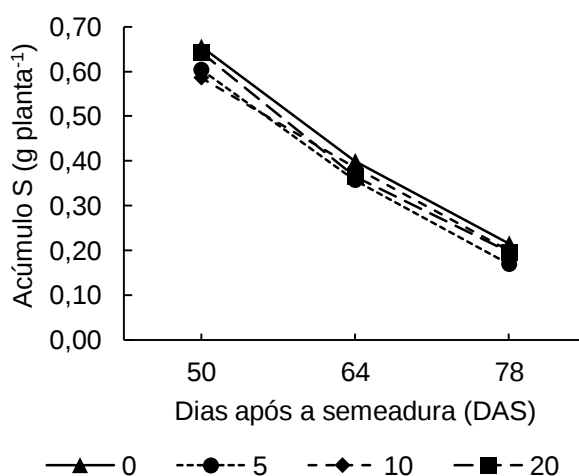


Figura 4 – Acúmulo de S (g planta⁻¹) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.

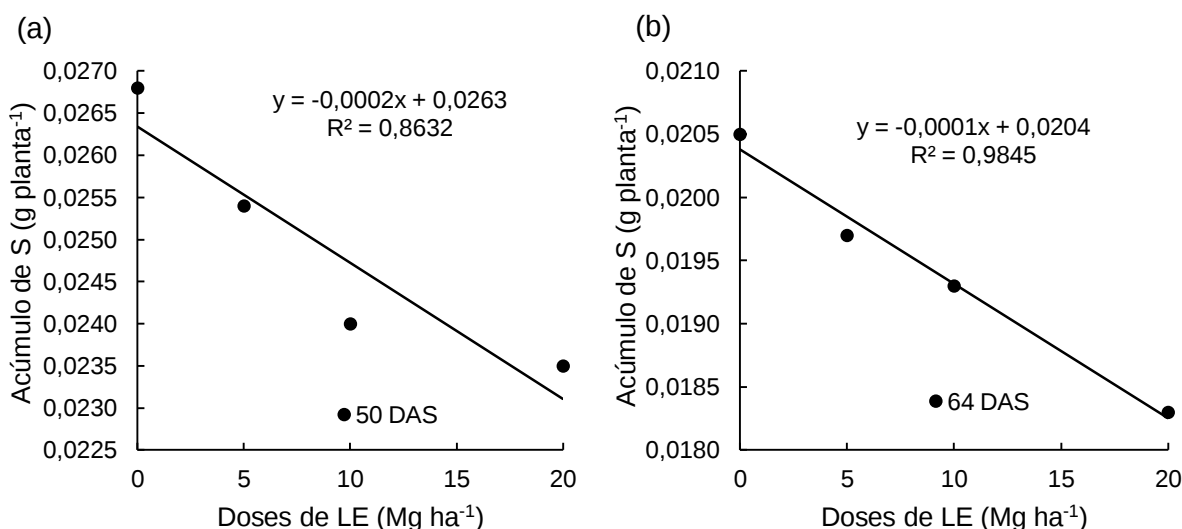


Figura 5 – Acúmulo de S (g planta⁻¹) na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 50 dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de S na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 64 dias após a semeadura (DAS) (b).

Utilizando adubação com LE, Bañuelos, Sharmasarkar e Pasakdee (2004) verificaram que a aplicação de LE aumentou significativamente as concentrações de S em folhas de canola em dois anos de crescimento em relação ao tratamento controle, independente da dose aplicada, que variou de 1,9 a 11,7 Mg ha⁻¹. Assim como para o N, a matéria orgânica também é o maior reservatório de S no solo (PRADO, 2008), o que pode justificar a diferença entre os estudos.

Para a concentração de S nos grãos de crambe, é possível notar que não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 6).

Estudando a composição de fertilizantes granulares com lodo de esgoto Krzywy et al. (2015) verificaram que as concentrações de S nos grãos de canola variaram entre 12,0 a 14,2 g kg⁻¹, valores muito superiores aos encontrados neste trabalho. Os autores, entretanto, utilizaram fertilizantes que continham LE em sua composição, mas não exclusivamente este resíduo.

O acúmulo de Ca em plantas de crambe não apresentou diferença entre os tratamentos em nenhuma época de amostragem (Tabela 7). Os valores variaram entre 0,11 g planta⁻¹ no tratamento 0 Mg ha⁻¹ aos 50 DAS a 0,44 g planta⁻¹ no tratamento 5 Mg ha⁻¹ aos 64 DAS. Aos 78 DAS, houve queda no acúmulo de Ca nas plantas de crambe quando comparada aos 64 DAS (Figura 6a). Para a concentração nos grãos de Ca, não se obteve diferença entre os tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7 – Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de cálcio em plantas de crambe submetido a doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de cálcio nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,02 [*]	3,65 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,46 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,40 ^{NS}
Bloco	4	0,00 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,02 ^{**}	0,08 ^{NS}
Resíduo	12	0,00	0,02	0,00	0,03
CV (%)		16,92	24,61	9,90	4,72
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		g planta⁻¹		g kg⁻¹	
0		0,11 a	0,39 a	0,21 a	11,29 a
5		0,11 a	0,44 a	0,26 a	12,14 a
10		0,14 a	0,43 a	0,27 a	12,15 a
20		0,12 a	0,42 a	0,30 a	12,60 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

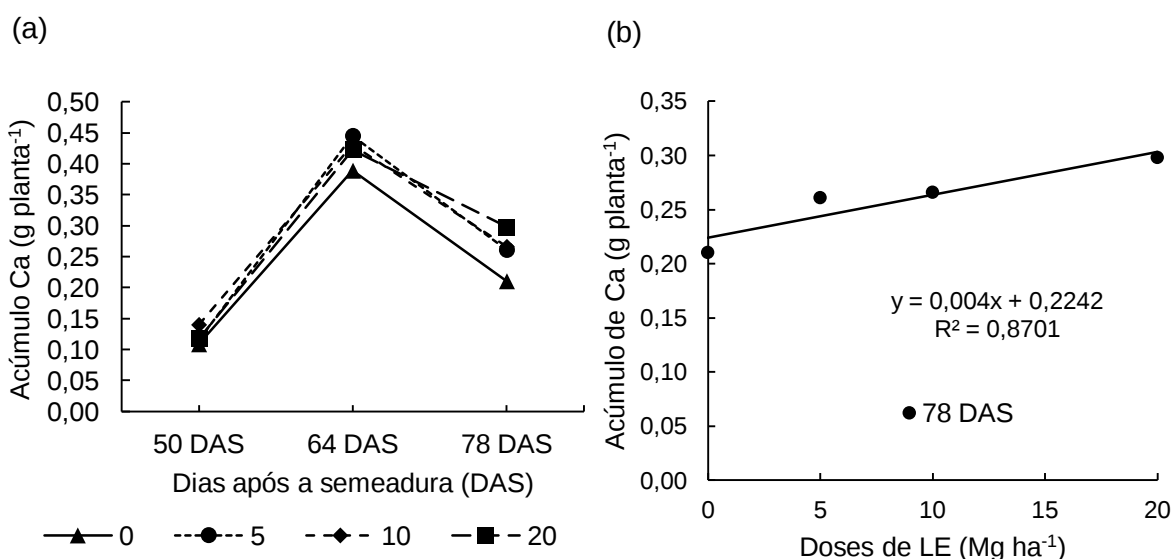


Figura 6 – Acúmulo de Ca (g planta⁻¹) em diferentes dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de cálcio na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 78 dias após a semeadura (DAS) (b).

Semelhante a este estudo foi encontrado por Mauad et al. (2013) avaliando acúmulo de Ca no crambe. Os autores observaram considerável decréscimo no acúmulo do nutriente depois do período de florescimento das plantas, justificado

pela queda prematura das folhas. Por ser um nutriente com baixa mobilidade na planta e constituinte principal que garante a estrutura da planta, a quantidade de Ca acumulada nos grãos foi baixa. Louzada (2016) também não verificou diferença nas concentrações de Ca foliares em crambe aos 96 DAE ao utilizar doses crescentes de LE.

Ao estudar efeitos da aplicação de LE na concentração de Ca em folhas de canola, Bañuelos, Sharmasarkar e Pasakdee (2004) verificaram que houve diferença entre as doses de LE utilizadas e o tratamento sem aplicação (controle), com maior concentração do nutriente nas parcelas que receberam as maiores doses de LE. A diferença não significativa deste estudo para o acúmulo de Ca pode ter ocorrido pela aplicação de calcário antes da semeadura do milho no ciclo primavera/verão.

Ahmad et al. (2013) também verificaram diferença significativa entre os tratamentos utilizados para observar os efeitos da irrigação com água de esgoto na absorção de cálcio por plantas de canola. As concentrações que variaram de 46,67 a 107,67 mg kg⁻¹, apresentaram um padrão consistente de aumento, ou seja, acompanharam as doses utilizadas.

Em solos tratados com LE, é preciso ter cuidado com as concentrações de Ca. Em baixas concentrações, a deficiência de Ca pode fazer com que os níveis inofensivos de metais tornem-se tóxico para as plantas (BRADY; WEIL, 2013).

Por desempenhar papel essencial na síntese de óleos e proteínas, o Mg torna-se nutriente de extrema importância neste estudo (BRADY; WEIL, 2013). O seu acúmulo nas plantas de crambe também não apresentou diferença entre os tratamentos utilizados em nenhuma época de amostragem (Tabela 8). Desta forma, o acúmulo médio de Mg na planta inteira variou entre 0,02; 0,07; e 0,08 g planta⁻¹ aos 50, 64 e 78 DAS respectivamente.

Observa-se um comportamento para este nutriente diferente de outros observados, como o cálcio. O Mg só obteve maior acúmulo com o tempo, atingindo valor máximo na última coleta, aos 78 DAS (Figura 7).

Para a concentração de Mg nos grãos, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 8), com valores que variam de 2,35 a 2,64.

Tabela 8 – Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de magnésio em plantas de crambe submetido a doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de magnésio nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,18 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,04 ^{NS}
Bloco	4	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,01 ^{**}	0,02 ^{NS}
Resíduo	12	0,00	0,00	0,00	0,01
CV (%)		14,63	21,58	11,85	6,93
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		g planta⁻¹			g kg⁻¹
0		0,01 a	0,06 a	0,08 a	2,35 a
5		0,02 a	0,07 a	0,08 a	2,52 a
10		0,02 a	0,07 a	0,08 a	2,47 a
20		0,02 a	0,07 a	0,09 a	2,64 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Avaliando os teores foliares, diferenças nas concentrações de Mg em crambe aos 96 DAE ao utilizar doses crescentes de LE também não foram observadas por Louzada (2016). Já Ahmad et al. (2013) verificaram que as doses de irrigação com água residuais de estação de tratamento de esgoto proporcionaram maior absorção de Mg em canola. As concentrações variaram de 19,72 a 21,92 mg kg⁻¹, com um padrão consistente de aumento, em função do aumento das doses utilizadas, os autores, entretanto, destacam que níveis elevados de aplicação (>60%) exibem redução nos atributos morfológicos e de produção da canola. Por existir competição por sítios, na presença de altas concentrações de outros cátions, pode ocorrer a inibição na absorção de Mg ou vice-versa.

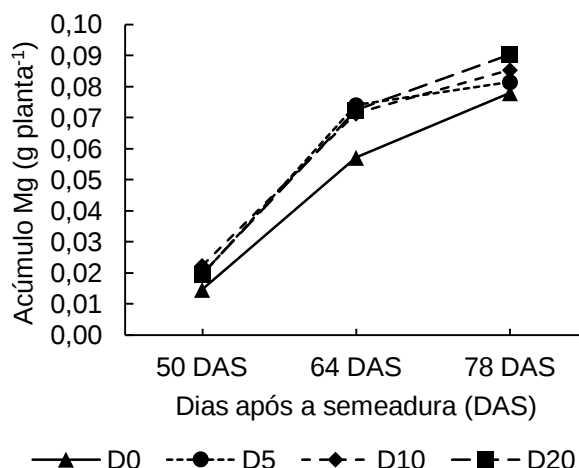


Figura 7 – Acúmulo de Mg (g planta^{-1}) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crame cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.

As concentrações de K nas plantas de crame não apresentaram diferença em função das doses de lodo aplicadas (Tabela 9). Foi observado acúmulo superior aos 64 DAS (Figura 8), com máxima expressão na dose de 10 Mg ha^{-1} ($0,69 \text{ g planta}^{-1}$), mas sem diferir das demais épocas. Para a concentração de K nos grãos, também não houve diferença significativa (Tabela 9).

Tabela 9 – Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de potássio em plantas de crame submetido a doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de potássio nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,01 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,01 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,07 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	1,17 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,00 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,83 ^{NS}
Bloco	4	0,00 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,09 ^{**}	0,04 ^{NS}
Resíduo	12	0,00	0,02	0,01	0,01
CV (%)		16,09	19,98	12,07	4,51
Doses de LE (Mg ha^{-1})		g planta^{-1}			g kg^{-1}
0		0,10 a	0,67 a	0,48 a	6,60 a
5		0,13 a	0,62 a	0,53 a	6,56 a
10		0,18 a	0,69 a	0,45 a	7,22 a
20		0,17 a	0,62 a	0,43 a	6,36 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

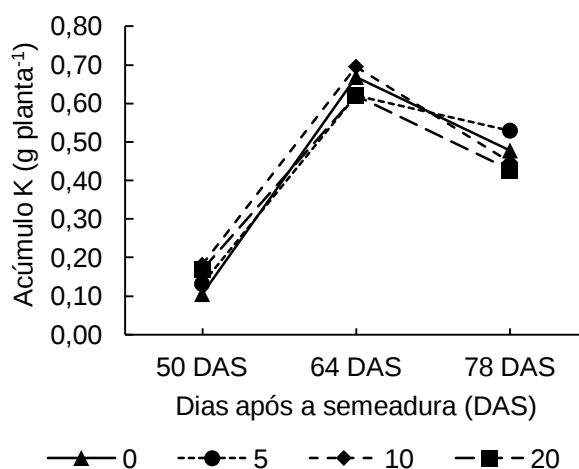


Figura 8 – Acúmulo de K (g planta⁻¹) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.

Bañuelos, Sharmasarkar e Pasakdee (2004) observaram concentrações de K semelhantes, em folhas de canola, para todos os tratamentos, inclusive o controle, no segundo ano de experimento com aplicação de LE. No primeiro ano, entretanto, os autores verificaram concentrações crescentes de K conforme o aumento da dose de LE utilizada. Por apresentar uma elevada solubilidade em água, normalmente não há grandes quantidades de K na composição do LE devido às perdas ocorridas durante o processo de tratamento do resíduo. Dessa forma, quando o LE é utilizado como fonte de adubação, há necessidade de adubação potássica complementar para suprir a demanda nutricional da cultura.

Diferentemente do presente estudo, Louzada (2016) verificou diferenças significativas nas concentrações de K foliar em crambe aos 96 DAE, sendo que a maior dose (44 t ha⁻¹ LE) proporcionou maior incremento nos teores de K comparado aos demais tratamentos. Essas diferenças encontradas na literatura podem ser explicadas pelas concentrações de K existente nos solos cultivados e também na composição do resíduo empregado, que pode conter mais ou menos do nutriente.

O acúmulo de B apresentou diferença entre os tratamentos de 0 e 10 Mg ha⁻¹ LE somente aos 50 DAS (Tabela 10), com média superior no tratamento que recebeu aplicação de 10 Mg ha⁻¹ LE (0,19 mg planta⁻¹). Nas demais épocas tanto para acúmulo como para concentração de B nos grãos, não houve diferença,

indicando que independente dos tratamentos estudados, o acúmulo de B foi o mesmo.

Tabela 10 – Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de boro em plantas de crambe submetido a doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de boro nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,01 *	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,25 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,01 *	0,02 ^{NS}	0,23 *	0,09 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,01 *	0,03 ^{NS}	0,12 ^{NS}	82,52 ^{NS}
Des. De Reg.	1	0,00 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,01 ^{NS}	20,62 ^{NS}
Bloco	4	0,00 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,04 *	0,26 ^{NS}
Resíduo	12	0,00	0,03	0,01	0,23
CV (%)		10,37	18,84	10,83	9,10
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		mg planta⁻¹		mg kg⁻¹	
0		0,12 b	0,78 a	0,86 a	26,78 a
5		0,15 ab	0,77 a	0,83 a	28,21 a
10		0,19 a	0,95 a	0,80 a	32,18 a
20		0,16 ab	0,84 a	1,14 a	26,48 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O maior acúmulo de B para os tratamentos 0, 5 e 20 Mg ha⁻¹ LE ocorreu aos 78 DAS (Figura 9a). Nos grãos, o teor do nutriente não diferiu entre as doses estudadas. Analisando a equação de regressão contida na figura 9b, pode-se observar que as 50 DAS, pelo cálculo de regressão quadrática, o máximo acúmulo foi observado na dose de 12,1 Mg ha⁻¹ (0,19 mg planta⁻¹).

Ao observarem as concentrações de B em folhas de canola Bañuelos, Sharmasarkar e Pasakdee (2004) verificaram que no primeiro ano as concentrações de B foram crescentes conforme o aumento das doses de LE. Já no segundo ano de experimentação não foram observadas diferenças entre os tratamentos que recebiam LE do que era adubado de modo convencional.

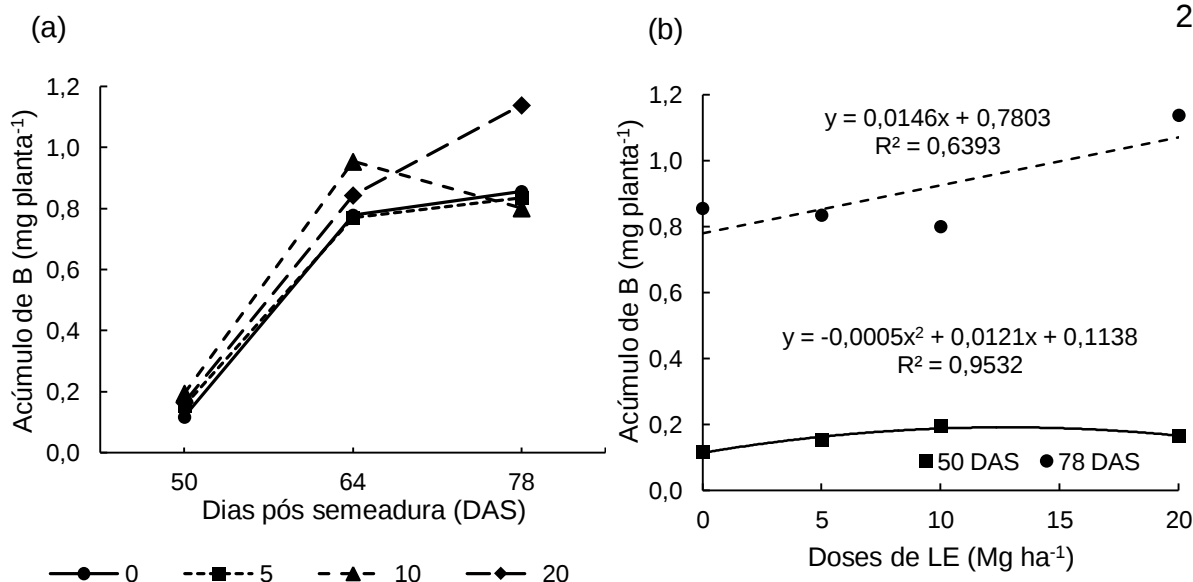


Figura 9 – Acúmulo de B (mg planta⁻¹) em diferentes dias após a semeadura (DAS)
 (a). Acúmulo de boro na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto, aos 50 e 78 dias após a semeadura (DAS)
 (b).

O acúmulo de Fe nas plantas de crambe e a concentração do nutriente nos grãos, não apresentaram diferença entre os tratamentos (Tabela 11). Os valores de acúmulo variaram de 4,73 mg planta⁻¹ na dose 0 aos 50 DAS a 78,34 mg planta⁻¹ na dose 20 Mg ha⁻¹, aos 78 DAS. Houve aumento em função dos DAS no acúmulo de Fe, obtendo-se maior acúmulo na última amostragem de planta aos 78 DAS (Figura 10).

Por competição iônica, outros íons como o P, Mn e Zn em elevadas concentrações na solução do solo podem inibir a absorção de Fe (PRADO, 2008). As características deste solo, entretanto, parecem não ter comprometido o acúmulo nas plantas de crambe já que os solos do Brasil, em sua maioria são ricos deste nutriente (PRADO, 2008). Solos altamente intemperizados, como o latossolo deste estudo, apresentam dominação quase integral de óxidos de ferro hematita (Fe₂O₃) e goethita (FeOOH) (FERNANDES et al., 2004). Essa predominância parece ter sido suficiente para não comprometer o acúmulo de Fe no crambe por competição com outros íons, catiônicos.

Tabela 11 – Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de ferro em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de ferro nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,04 ^{NS}	0,27 ^{NS}	2,53 ^{NS}	189,12 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,08 ^{NS}	32,95 ^{NS}	2219,08 ^{NS}	4070526,22 ^{NS}
Reg. Quad.	1	1,11 ^{NS}	17,43 ^{NS}	885,85 ^{NS}	273014,29 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,36 ^{NS}	34,72 ^{NS}	10,58 ^{NS}	9058339,89 ^{NS}
Bloco	4	0,19 ^{NS}	0,56 ^{NS}	2,88 ^{NS}	772,98 ^{NS}
Resíduo	12	0,12	2,85	5,57	434,73
CV (%)		15,67	26,58	32,47	29,27
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		mg planta⁻¹			mg kg⁻¹
0		4,73 a	40,38 a	52,55 a	6305,90 a
5		4,91 a	40,14 a	46,35 a	4796,32 a
10		5,46 a	45,13 a	51,12 a	6363,30 a
20		4,87 a	43,15 a	78,34 a	4610,12 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

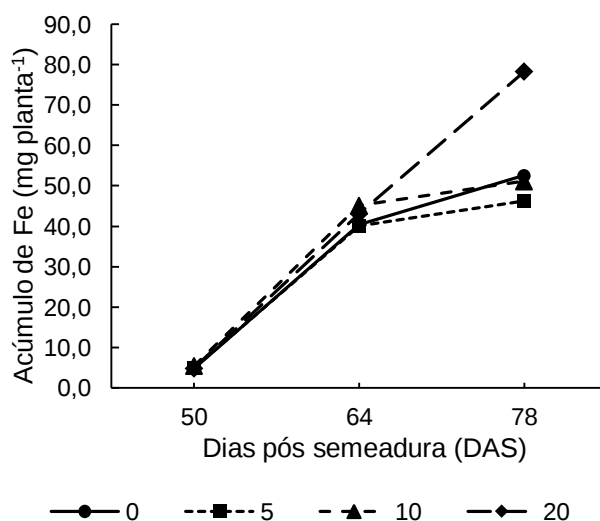


Figura 10 – Acúmulo de Fe (mg planta⁻¹) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.

Para Cu, não foi observada diferença a entre os tratamentos quanto ao acúmulo da planta e para concentração do nutriente nos grãos (Tabela 12). Assim como para Fe, o acúmulo de Cu só aumentou em função do período de

amostragem, com maior acúmulo aos 78 DAS (Figura 11). Nos grãos, a concentração de Cu chegou a 12,86 mg kg⁻¹ na dose de 10 Mg ha⁻¹.

Tabela 12 – Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de cobre em plantas de crambe submetido a doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de cobre nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,38 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,00 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,00 ^{NS}	3,89 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,72 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	39,66 ^{NS}
Bloco	4	0,00 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,03 ^{**}	0,55 ^{NS}
Resíduo	12	0,00	0,01	0,00	0,47
CV (%)		21,08	28,10	15,40	21,25
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		mg planta⁻¹			mg kg⁻¹
0		0,03 a	0,21 a	0,22 a	11,00 a
5		0,03 a	0,16 a	0,16 a	8,68 a
10		0,04 a	0,15 a	0,20 a	12,86 a
20		0,03 a	0,15 a	0,22 a	11,18 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

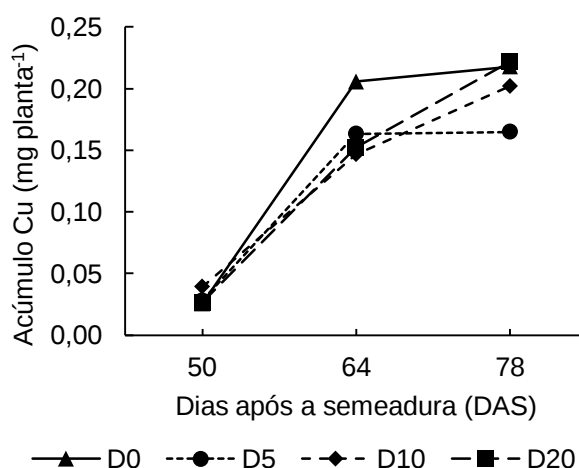


Figura 11 – Acúmulo de Cu (mg planta⁻¹) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto

O baixo pH do solo em LVec (Tabela 3) pode ter favorecido o acúmulo de Cu, visto que solos ácidos aumentam a mobilidade e disponibilidade de Cu (Planquart et

al.,1999). É importante salientar que a captação de metais pesados pelas plantas depende da interação de vários atributos do solo e da própria planta.

Concentrações de Cu em folhas de canola foram maiores quando a planta foi cultivada nos tratamentos que receberam aplicação de LE, quando comparado ao tratamento controle, sem aplicação do resíduo durante dois anos de experimentação, (Bañuelos, Sharmasarkar e Pasakdee, 2004).

Louzada (2016) também verificou diferença significativa nas concentrações de Cu foliar aos 96 DAE em crambe adubado com LE e irrigados com água potável. Contudo, as maiores concentrações de Cu se deram nos tratamentos que não receberam aplicação de LE ou receberam as menores doses do resíduo. Este resultado é interessante, pois se espera que o LE disponibilize maior teor de Cu as plantas, entretanto, fatores como a matéria orgânica do solo podem influenciar essa disponibilidade (BRADY; WEIL, 2013).

Quanto ao acúmulo de Mn em plantas e a concentração do nutriente em grãos de crambe, não foi encontrada diferença entre os tratamentos para os períodos avaliados (Tabela 13). O maior acúmulo foi encontrado aos 64 DAS em todos os tratamentos, atingindo $1,40 \text{ mg planta}^{-1}$ de Mn na dose de 20 Mg ha^{-1} de LE (Figura 12). Após este período, aos 78 DAS, o acúmulo de Mn apresentou queda em todos os tratamentos (Figura 12).

A concentração de Mn em folhas de canola não apresentou diferença significativa durante dois anos agrícolas, em experimento realizado por Bañuelos, Sharmasarkar e Pasakdee (2004). Contudo, a maior expressão do nutriente deu-se nos tratamentos que receberam aplicação de LE.

Doses de irrigação com água de esgoto proporcionaram maiores teores de nas concentrações de Mn em canola. As concentrações que variaram de 4,57 a 6,85 mg kg^{-1} apresentaram um padrão consistente de aumento (Ahmad et al., 2013).

A diferença entre os estudos encontrada na literatura pode ser explicada por diversos fatores: depois do Fe, o Mn é o micronutriente mais abundante em solos tropicais; sua disponibilidade depende principalmente do pH do solo, matéria orgânica e equilíbrio com outros cátions, como o Fe, Ca e Mg; sua concentração na forma disponível as plantas (Mn^{2+}) vai depender de reações químicas e principalmente de reações biológicas (PRADO, 2008).

Tabela 13 – Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de manganês em plantas de crambe submetido a doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de manganês nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,01 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,01 ^{NS}	1,38 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,01 ^{NS}	1,12 ^{NS}	0,05 ^{NS}	124,04 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,00 ^{NS}	141,14 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,00 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,04 ^{NS}	805,60 ^{NS}
Bloco	4	0,00 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,02 ^{NS}	3,96 ^{NS}
Resíduo	12	0,01	0,09	0,01	3,76
CV (%)		19,93	31,51	15,47	23,46
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		mg planta⁻¹			mg kg⁻¹
0		0,17 a	0,83 a	0,47 a	69,32 a
5		0,18 a	0,77 a	0,60 a	62,40 a
10		0,24 a	1,09 a	0,52 a	82,74 a
20		0,21 a	1,40 a	0,63 a	72,07 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

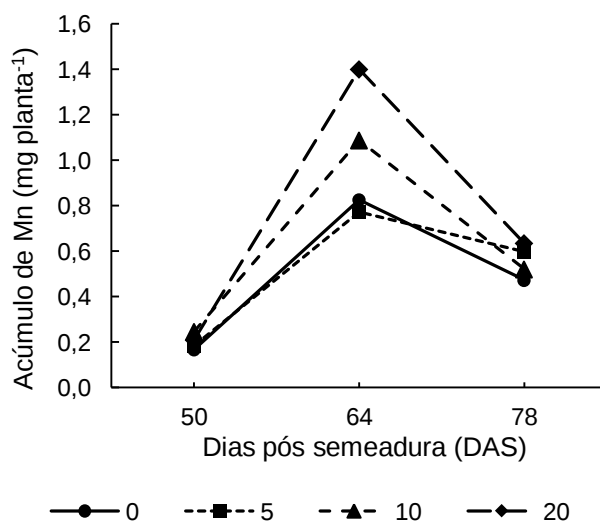


Figura 12 – Acúmulo de Mn (mg planta⁻¹) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.

Para o Zn houve diferença no acúmulo em função dos tratamentos somente aos 50 DAS, com valor de 0,44 mg planta⁻¹ no tratamento que recebeu a dose de 20 Mg ha⁻¹ de LE (Tabela 14). Para as concentrações de Zn nos grãos de crambe, não houve diferença entre os tratamentos.

Tabela 14 – Resumo de análise de variância e médias observadas para acúmulo de zinco em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS) e concentração de zinco nos grãos aos 92 DAS.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios			
		50 DAS	64 DAS	78 DAS	Grão
Doses de LE	3	0,05 **	0,09 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,37 ^{NS}
Reg. Linear	1	0,17 **	1,18 ^{NS}	0,35 ^{NS}	108,47 *
Reg. Quad.	1	0,00 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	6,57 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,02 ^{NS}	45,34 ^{NS}
Bloco	4	0,01 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,13 *	0,25 ^{NS}
Resíduo	12	0,01	0,06	0,04	0,13
CV (%)		15,63	22,98	15,71	6,01
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		mg planta⁻¹			mg kg⁻¹
0		0,20 b	0,85 a	1,44 a	34,11 a
5		0,23 b	0,99 a	1,42 a	33,54 a
10		0,34 ab	1,27 a	1,58 a	39,50 a
20		0,44 a	1,49 a	1,76 a	39,44 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%; **= Significativo a 1%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de Zn nas plantas de crambe elevou-se conforme o decorrer do experimento, atingindo acúmulo máximo aos 78 DAS (Figura 13).

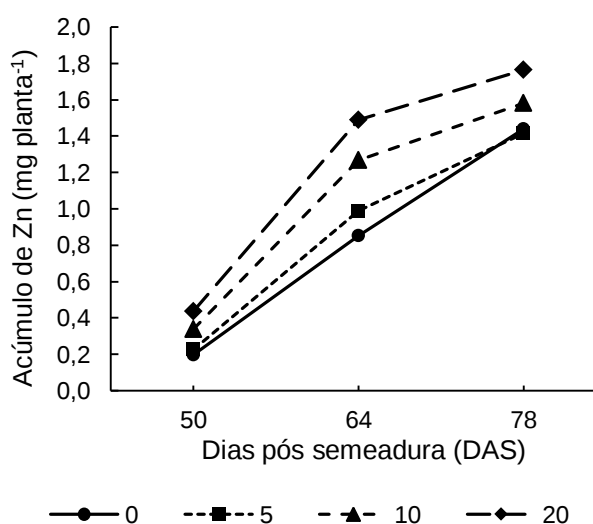


Figura 13 – Acúmulo de Zn (mg planta⁻¹) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.

Assim como para o Cu, embora sejam nutrientes, concentrações elevadas de Zn nos solos e conseqüentemente nas plantas são indesejadas. Por ser um metal pesado, em quantidades superiores às necessidades da cultura, este elemento pode causar toxidez e comprometer o rendimento.

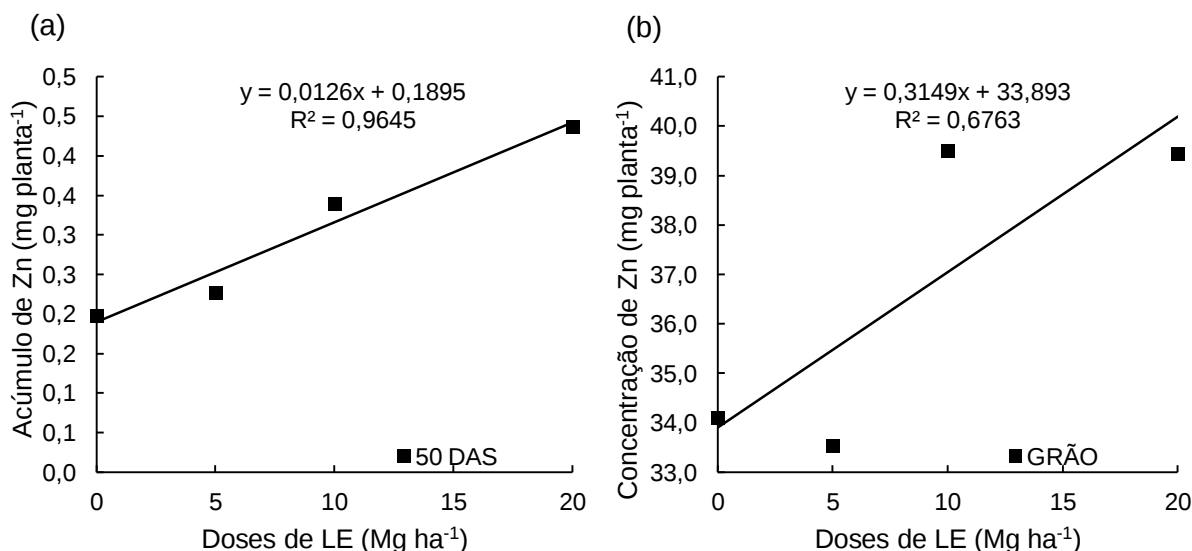


Figura 14 – Acúmulo de zinco na planta inteira de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto aos 50 dias após a semeadura (DAS) (a). Acúmulo de Zn (mg planta⁻¹) no grão de crambe em função de doses residuais de lodo de esgoto.

A partir dos estudos de regressão, pode-se observar um incremento no acúmulo de Zn em função do aumento na dose de lodo de esgoto de acordo com os DAS (Figura 14).

Quanto à concentração de Zn em folhas de canola, Bañuelos, Sharmasarkar e Pasakdee (2004) observaram que estas foram maiores nos tratamentos que receberam aplicação de LE, quando comparado ao tratamento controle, sem aplicação. Essa maior concentração foi observada nos dois anos de experimento realizado.

A aplicação de LE no cultivo de canola promoveu maior concentração de Zn nas plantas do que outros metais, como Cu, níquel (Ni), cromo (Cr), arsênio (As) e cádmio (Cd) (SELEIMAN et al., 2012), o que pode estar relacionado com a alta mobilidade de Zn nas plantas (LASSOUED et al., 2013; TITO; CHAVES; VASCONCELOS, 2016).

O acúmulo de Zn nas plantas pode ter ocorrido pela maior concentração deste elemento no solo em função das sucessivas aplicações, ao grande teor deste nutriente quando comparado a outros micronutrientes presentes no LE (Tabela 2), ou pelo baixo pH do solo em estudo (Tabela 3), que favorece a mobilidade e disponibilidade de Zn (PRADO, 2008).

4.2. Produção de massa seca e teor de óleo

Para a massa seca de plantas de crambe foi observado que durante as três épocas de amostragem houve diferença entre os tratamentos apenas aos 50 DAS, com maior expressão na dose de 10 Mg ha⁻¹ LE (Tabela 15). Nas demais épocas, a produção de massa seca entre os tratamentos não diferiu, indicando que o efeito residual foi semelhante entre o fertilizante mineral e a orgânica.

Aos 78 DAS às plantas apresentaram o maior acúmulo de massa seca durante as três épocas para as doses de 0, 5 e 20 Mg ha⁻¹, chegando a atingir 20,11; 21,56 e 23,22 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 15). Em função dos resultados, pode-se inferir que o uso contínuo e ininterrupto durante os dezoito anos de adubação com LE não causou estresse significativo no ambiente solo devido à presença de metais pesados, visto que, estes em altas concentrações poderiam comprometer o crescimento e acúmulo de biomassa da planta.

É importante salientar que a temperatura ideal durante o período vegetativo do crambe é de 15 °C e 25 °C (FALASCA et al. 2010) e a necessidade de precipitação durante o plantio até o florescimento é de no mínimo 150 a 200 mm (OLIVEIRA et al. 2013). Os valores da temperatura durante o período experimental (Figura 1) foram próximos ao indicado, entretanto, a precipitação foi inferior (aproximadamente 120 e 150 mm em setembro e outubro, respectivamente) ao considerado ideal, o que pode ter comprometido o desenvolvimento da cultura.

Aos 50 DAS, houve incremento de aproximadamente 64,5% na produção de massa seca de crambe na dose de 10 Mg ha⁻¹ quando comparado ao controle. Gerzabek et al. (1998), verificaram que a adição de LE no solo promoveu incremento de 150% na matéria seca de plantas de canola. Do mesmo modo, Louzada (2016) observou um incremento em aproximadamente 111% na massa seca da parte aérea de crambe, no tratamento que recebeu aplicação de 44 Mg ha⁻¹ LE em comparação

a testemunha. A dose aplicada, entretanto, é cerca duas vezes a dose máxima utilizada no presente estudo.

Tabela 15. Resumo de análise de variância e médias observadas para massa seca em plantas de crambe submetido a diferentes doses de LE aos 50, 64 e 78 dias após a semeadura (DAS).

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios		
		50 DAS	64 DAS	78 DAS
Doses de LE	3	2,29 *	34,93 ^{NS}	11,01 ^{NS}
Reg. Linear	1	2,46 ^{NS}	41,67 ^{NS}	19,93 ^{NS}
Reg. Quad.	1	3,70 *	30,76 ^{NS}	3,19 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,69 ^{NS}	32,35 ^{NS}	9,92 ^{NS}
Bloco	4	0,68 ^{NS}	68,13 ^{NS}	133,41 **
Resíduo	12	0,64	46,00	21,24
CV (%)		24,1	39,0	21,6
Doses de LE (Mg ha⁻¹)		g kg⁻¹		
0		2,51 b	15,00 a	20,11 a
5		3,12 ab	15,51 a	21,56 a
10		4,13 a	20,68 a	20,09 a
20		3,46 ab	18,34 a	23,22 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

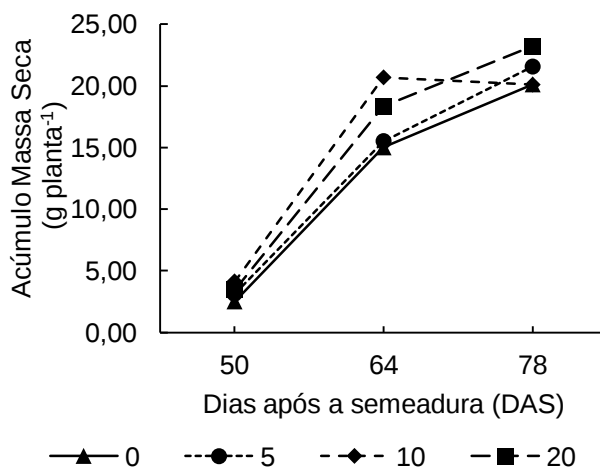


Figura 15 – Produção de massa seca (g planta⁻¹) em função dos dias após a semeadura (DAS) em plantas de crambe cultivado em sucessão ao milho adubado com lodo de esgoto.

A aplicação de LE aumentou significativamente os rendimentos de matéria seca total de canola, atingindo de 1,5 a 2,8 vezes no rendimento total da planta

(BAÑUELOS; SHARMASARKAR; PASAKDEE, 2004). Resultados semelhantes foram encontrados por Seleiman et al. (2013) que observaram elevação na produção de biomassa de canola após a aplicação de lodo de esgoto durante todos os períodos de amostragem (60, 90 e 120 DAS).

A diferença de incremento em biomassa da cultura do crambe pode ser explicada pela menor disponibilidade de nutrientes em quantidades satisfatórias para a planta, visto o cultivo em sucessão ao milho, mas principalmente a falta de chuvas. Colodetti et al. (2013) ao estudarem as perdas de biomassa causadas pela deficiência de macronutrientes em crambe, verificaram que os nutrientes que mais limitaram a produção de biomassa foram P e N. Sem deficiências, os autores obtiveram 4,24 g de biomassa acumulada aos 30 DAS, valor superior aos encontrados neste estudo em todas as doses aos 50 DAS.

Para a porcentagem de óleo nos grãos de crambe é possível notar que não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 16). Os valores variaram entre 18,69 e 19,53%, indicando o potencial do efeito residual das adubações com lodo de esgoto para culturas de inverno. Este resultado é importante, pois minimiza os custos com adubações que representam grande investimento para os produtores, além de demonstrar o potencial da rotação de culturas com o crambe. Por ser uma espécie com baixa exigência nutricional e resistente à seca, em função de seu sistema radicular profundo que explora grande volume do solo, o crambe pode vir a aproveitar o efeito residual de adubações anteriores.

Assim como o presente estudo, Louzada (2016) não verificou efeitos de doses de LE no teor de óleo dos grãos de crambe, atingindo média de 29% de óleo, com altas doses de LE (44 Mg ha⁻¹ de LE). Pitol et al. (2010), entretanto, encontraram maior teor de óleo em crambe que recebeu adubação com fertilizante mineral, variando entre 36 e 38%.

O teor de óleo do crambe é influenciado pelas culturas de cobertura, conforme relatado por Bassegio et al. (2016), os autores observaram que o maior teor de óleo foi obtido na sucessão de crotalária (27%) comparada ao milheto, capim-braquiária, sorgo, crotalária e uma área de pousio. No presente estudo, o máximo obtido para esta variável foi de 19,53%.

Vale destacar a alta produtividade de crambe apresentada no estudo. Segundo dados da Fundação MS, fornecedora de sementes de crambe no país, a produtividade da cultura varia entre 1 e 1,5 Mg ha⁻¹, entretanto, esse valor foi

superado no presente estudo, que atingiu $3,95 \text{ Mg ha}^{-1}$ encontrado na dose de $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ LE}$ (Tabela 16).

Resultado semelhante ao encontrado no presente trabalho foi obtido por Deeks et al. (2013) ao cultivar canola. Os autores não encontraram diferenças para a produtividade de grãos entre o emprego de adubo organomineral e fertilizantes convencionais, atingindo $2,5$ e $2,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ grãos, respectivamente, no primeiro ano de experimento, e $1,3$ e $1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ no último ano. Diferentemente, ao avaliar o efeito da água residuária tratada e do lodo de esgoto compostado como substituto à adubação nitrogenada no solo na cultura do crambe, Louzada (2016) verificou que esta forma de manejo elevou o rendimento de grãos por planta. A dose máxima utilizada (44 Mg ha^{-1}) promoveu maior incremento, com $25,8 \text{ g}$ de grãos por planta, motivando o autor afirmar que a substituição total ou parcial da adubação nitrogenada por LE no cultivo de crambe não trouxe prejuízos ao rendimento da cultura.

Tabela 16. Resumo de análise de variância e médias observadas para porcentagem de óleo e produção de grãos de crambe submetido a diferentes doses de LE.

Causa de Variância	GL	Valores de Quadrados Médios	
		Porcentagem óleo	Produtividade de grãos
Doses de LE	3	0,81 ^{NS}	1,77 ^{NS}
Reg. Linear	1	1,81 ^{NS}	0,28 ^{NS}
Reg. Quad.	1	0,41 ^{NS}	0,79 ^{NS}
Des. de Reg.	1	0,21 ^{NS}	4,26 ^{NS}
Bloco	4	14,10 ^{NS}	1,61 ^{NS}
Resíduo	12	8,43	1,48
CV (%)		15,30	38,23
Doses de LE (Mg ha^{-1})		%	Mg ha^{-1}
0		18,69 a	3,36 a
5		18,85 a	2,67 a
10		18,69 a	3,95 a
20		19,53 a	2,75 a

Reg. Linear= Regressão linear; Reg. Quad.= Regressão quadrática; Des. de Reg.= Desvio de Regressão; DAS= Dias após a semeadura; NS= Não significativo; *= Significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao estudar os efeitos em curto prazo da rotação de culturas sobre o rendimento de grãos e o teor de óleo de crambe cultivado após culturas de cobertura primavera-verão, Bassegio et al. (2016) observaram que o maior rendimento de

grãos de crambe deu-se na sucessão a crotalária. Os autores justificam o fato pela maior exportação de nutrientes promovida pelo crambe, em especial o N, que é o nutriente mais exportado na colheita de grãos de crambe.

Estudando os efeitos da aplicação de lodo de esgoto com resíduos de madeira nos solos da China, Wei e Liu (2005) observaram que a aplicação do composto foi mais eficaz para o aumento do rendimento do repolho chinês do que o do fertilizante comum NPK. Contudo, o emprego do resíduo provocou acúmulo de Cu e Zn em suas folhas, sendo recomendada a utilização de doses inferiores a 150 Mg ha⁻¹ do LE a fim de prevenir a entrada de altas doses desses metais na cadeia eutrófica.

5. CONCLUSÕES

A resposta da adubação residual com LE ou mineral no acúmulo de nutrientes da planta e no teor do grão foi semelhante em todos os tratamentos, demonstrando quantidades satisfatórias no decorrer do ciclo da cultura.

A área que recebe sucessivas aplicações com LE forneceu os nutrientes necessários para atingir produtividade superior ao encontrado na literatura, contudo as doses testadas não refletiram em aumento da produtividade e no teor de óleo do crambe.

O plantio no mês de setembro demonstrou uma opção boa para o crambe, visto que a produtividade neste período foi superior a produtividade no ciclo outono/inverno utilizado por outros autores.

O crambe é uma cultura que pode ser utilizada em sucessão do milho safra em áreas adubadas com LE por apresentar bom desenvolvimento mesmo em períodos de veranico.

REFERÊNCIAS

AHMAD, K.; KHAN, Z. I.; ASHRAF, S.; EJAZ, A.; SHAHEEN, M.; RAZA, S. H.; ABBAS, F.; TAHIR, H. M. Effect of Sewage Water Irrigation on the Uptake of Some Essential Minerals in Canola (*Brassica napus* L.): A potential Forage Crop for Ruminants. **Pak. j. life soc. Sci**, v. 11, n. 1, p. 42-47, 2013.

ALVES, J. M.; LEANDRO, W. M.; NETO, S. A. S. O.; LEÃO, A. K. M.; ALVES, C. C. F.; SOUCHIE, E. L. Effect of base saturation and nitrogen dose on cultivation of crambe. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 1, p. 14-22, 2015.

ARAUJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Org.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo, 2006. p. 254.

BAÑUELOS, G. S.; SHARMASARKAR, S.; PASAKDEE, S. Utilization of Biosolids as a Fertilizer for Canola. **Compost Science & Utilization**, v. 12, p. 61-68, 2004.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 601-605, 2007.

BASSEGIO, D.; SANTOS, R. F.; SARTO, M. V. M.; BASSEGIO, C.; DIAS, P. P.; MARTINS, J. D. L.; ALVES, M. S. Short-term green manure effects on crambe yield and oil content. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 1618-1622, 2016.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, R. P.; GALLO JR. **Métodos de Análise Química de Plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. (Boletim técnico, 78).

BELMONTE, C.; COPPO, J. C.; ANDRADE, E. C.; RICHART, A.; RAMPIM, L.; AMARAL, R. G.; ROSA, D. D.; LORENZETTI, E.; ALVES NETO, A.; ZIMERMMAN, A.; QUEIROZ, S. B.; FRIEDRICH, J. C. C. Crambe performance depending on the potassium doses and cultivation in red latosol. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 51, p. 5145-5151, 2016.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013, p 499.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis**, n. 99, 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3342640/Boletim+DCR+n%C2%BA+99+-+maio+de+2016.pdf/7d04979c-aa06-4d2f-9448-0eea32a071b9>>. Acesso em: 04 jul 2016.

BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção: crambe 2010**. Maracaju: Fundação MS, 2010. p. 22-36.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K.; ROSCOE, R. Efeito de adubações de plantio e cobertura sobre a produtividade de crambe cv. FMS brilhante após soja e milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 652-657.

CAMARGO, O. A.; BETTIOL, W. Agricultura: opção animadora para a utilização de lodo de esgoto. **O Agrônomo**, Campinas, v. 52, n. 2-3, p. 13-16, 2000.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 376-470.

CARVALHO, K. S.; BOMFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; LEITE, N.; KOETZ, M. Crambe cultivado em latossolo do cerrado submetido à calagem. **Enciclopédia biosfera**, v. 8, n. 15, p. 552-558, 2012.

CHEN, H.; YAN, S-H.; YE, Z-L.; MENG, H-J.; ZHU, Y-G. Utilization of urban sewage sludge: Chinese perspectives. **Environ Sci Pollut Res**. v. 19, p. 1454-1463, 2012.

CIHACEKI, L. J.; CARCOANA, R.; JACOBSON, K. Phosphorus and zinc fertilization effects on dry matter yield and phosphorus and zinc uptake by crambe. **Journal of plant nutrition**, v.16, n.9, p.1829-1836, 1993.

COLODETTI, T. V.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N.; BRINATE, S. V. B.; TOMAZ, M. A. Crambe: aspectos gerais da produção agrícola. **Enciclopédia biosfera, centro científico conhecer**. Goiânia, v. 8, n. 14, p. 258-269, 2012.

COLODETTI, T. V.; RODRIGUES, W. N.; CHRISTO, L. F.; MARTINS, L. D.; TOMAZ, M. A. Perda de biomassa causada pela deficiência de macronutrientes em *Crambe abyssinica*. **Enciclopédia biosfera, centro científico conhecer**. Goiânia, v. 9, p. 2027-2038, 2013.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). Critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 30 de agosto de 2006. (Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006).

COSTA, C. H. M. **Calagem superficial e aplicação de gesso em sistema de plantio direto de longa duração: efeitos no solo e na sucessão milho/crambe/feijão-caupi**. 2015. 97 f. Tese (Doutorado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2015.

DEEKS, L. K.; CHANEY, K.; MURRAY, C.; SAKRABANI, R.; GEDARA, S.; LE, M. S.; TYRREL, S.; PAWLETT, M.; READ, R.; SMITH, G. H. A new sludge-derived organo-mineral fertilizer gives similar crop yields as conventional fertilizers. **Agron. Sustain. Dev**, v. 33, p. 539-549, 2013.

DOLACK, P. Crambe, Industrial Rapeseed, and Tung Provide Valuable Oils. **Industrial Uses**, p.17-23, 1996. Disponível em: <<https://wayback.archive-it.org/5923/20110903192229/http://ers.usda.gov/publications/IUS6/ius6c.pdf>> Acesso em: 10 ago 2016.

FALASCA, S. L.; FLORES, N.; LAMAS, M. C.; CARBALLO, S. M.; ANSCHAU, A. *Crambe abyssinica*: An almost unknown crop with a promissory future to produce biodiesel in Argentina. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, p. 5808-5812, 2010.

FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 245-257, 2004.

FEROLDI, M.; CREMONEZ, P. A.; FEIDEN, A.; ROSSI, E. de; NADALETI, W. C.; ANTONELLI, J. Cultivo do crambe: potencial para produção de biodiesel. **Revista brasileira de energias renováveis**, v. 2, p. 11-22, 2012.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: Sistema de análise de variância versão 4.6**. Lavras: UFLA/DEX; 2003. Ferreira PV. Estatística experimental aplicada à agronomia. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES; 1991.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: Sistema de análise de variância versão 4.6**. Lavras: UFLA/DEX, 2003.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 569-577, 2004.

GERZABEK, M. H.; LOMBI, E.; HERGER, P. Use of sewage sludge - nitrogen availability and heavy metal up take into rape. **Die Bodenkultur**, v. 49, p. 85-94, 1998.

GONÇALVES JR., A. C.; RUBIO, F.; MENEGHEL, A. P.; COELHO, G. F.; DRAGUNSKI, D. C.; STREY, L. The use of *Crambe abyssinica* seeds as adsorbent in the removal of metals from waters. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, v. 17, n. 3, p. 306-311, 2013.

HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; VIEGAS NETO, A. L.; MOTA, L. H. S.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, 2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físicos e químicos para análise de alimentos**. 3. ed. 1985; 1: 533 p.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; CARNEIRO, J. P.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produção do milho adubado residualmente com composto de lodo de esgoto e fosfato de Gafsa. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1289-1297, 2012.

KRZYZANOWSKI JR, F.; LAURETTO, M. S.; NARDOCCI, A. C.; SATO, M. I. Z.; RAZZOLINI, M. T. P. Assessing the probability of infection by *Salmonella* due to sewage sludge use in agriculture under several exposure scenarios for crops and soil ingestion. **Science of The Total Environment**, v. 568, p. 66-74, 2016.

KRZYWY, E.; MOZDZER, E.; BAKENOWA, Z. Effect of granular fertilisers produced from industrial and municipal wastes on the crop yield and their content of macroelements. **Polish Journal of Chemical Technology**, v. 17, p. 11-16, 2015.

LASSEN, R.; TJELL, J. C.; HANSEN, J. A. Phosphorus recovery from sewage for agriculture. **Waste Management & Research**, v. 2, p. 369-378, 1984.

LASSOUED, N.; BILAL, E.; REJEB, S.; GUENOLE-BILAL, I.; KHELIL, M. N.; REJEB, M. N.; GALLICE, F. Behavior canola (*Brassica Napus*) following a sewage sludge treatment. **Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences**, v. 8, n. 6, p. 155-165, 2013.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. **Pesq. agropec. bras.**, v. 41, n. 10, p. 1477-1484, 2006.

LIU, H.-T. Achilles heel of environmental risk from recycling of sludge to soil as amendment: A summary in recent ten years (2007–2016). **Waste Management**, v. 56, p. 575-583, 2016.

LOUZADA, I. S. de B. **Aplicação de água residuária tratada e de adubação com lodo de esgoto na cultura do crambe**. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

LUNELLI I. E. **Efeitos de arranjos nutricionais de npk na produtividade de grãos e rendimento de óleo da cultura do crambe**. 2011. 40 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Potafos**, v. 319, 1997.

MARUCCI, R. A rotação de culturas como ferramenta ao controle de pragas agrícolas. **Rehagro**, 2007. Disponível em: <<http://rehagro.com.br/plus/modulos/noticias/imprimir.php?cdnoticia=1389>> Acesso em 21 jan 2017.

MAUAD, M.; GARCIA, R. A.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, R. M. M. F.; GARBIATE, M. V.; COELHO, L. C. F. Matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de crambe. **Ciênc. Rural**, v. 43, n. 5, p.771-778, 2013.

MELO, W. J. **Variação do N-amoniaco e N-nítrico em um Latossolo Roxo cultivado com milho (*Zea mays* L.) e com lablab (*Dolichos lablab* L.)**. 1974. 104 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 385-392, 2004.

OLIVEIRA, R. C.; et al. Boletim técnico cultura do crambe. Cascavel: ASSOESTE; 2013. (Boletim técnico, 1).

OLIVEIRA, V. F.; FRANCA, A. S. **Estudo do equilíbrio da adsorção da torta prensada de Crambe (*Crambe Abyssinica*) em sua aplicação como biosorvente em soluções aquosas de corantes**. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009, Uberlândia. **Resumos...** Disponível em: <<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/91415611.pdf>> Acesso em 10 ago 2016.

ONOREVOLI, B. **Estudo do Crambe Abyssinica como fonte de matérias primas oleaginosas: óleo vegetal, biodiesel e bio-óleo**. 2012. 115 f. Dissertação (Ciência de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PLANQUART, P.; BONIN, G.; PRONE, A.; MASSIANI, C. Distribution, movement and plant availability of trace metals in soils amended with sewage sludge composts: application to low metal loadings. **Science of The Total Environment**, v. 241, n. 1-3, p. 161-179, 1999.

PAULOSE, B.; KANDASAMY, S.; DHANKHER, O. P. Expression profiling of *Crambe abyssinica* under arsenate stress identifies genes and gene networks involved in arsenic metabolism and detoxification. **BMC Plant Biology**, v. 10, p. 108, 2010.

PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A.; SOUZA, N. A. P.; CARMO, J. B.; COSCIONE, A. R.; CARVALHO, C. S. Disponibilidade e mineralização do nitrogênio após aplicações sucessivas de lodo de esgoto no solo, estimadas por meio de incubação anaeróbica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 333-342, 2015.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção: crambe 2010**. Fundação MS, Maracajú, 2010.

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 2008. p. 223, 261, 245.

PRATES, F. B. S.; GENUNCIO, G. C.; FERRARI, A.C.; NASCIMENTO, E. C.; ALVEZ, G. Z.; PALERMO, D. P.; ZONTA, E. Acúmulo de nutrientes e produtividade

de crambe em função da fertilização com torta de mamona e serpentinito. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 810-816, 2014.

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S.; MELO, W. J. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Nucleus**, v. 8, n. 1, p. 183-192, 2011.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo; 1997. (Boletim técnico, 100).

RIBEIRINHO, V. S.; MELO, W. J.; SILVA, D. H.; FIGUEIREDO, L. A.; MELO, G. M. P. Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 166-173, 2012.

RIGO, M. M.; RAMOS, R. R.; CERQUEIRA, A. A.; SOUZA, P. S. A.; MARQUES, M. R. C. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014.

ROGERIO, F.; SANTOS, J. I.; SILVA, T. R. B.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; BARBOSA, M. C. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento da cultura do Crambe. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 251-255, 2012.

ROGERIO, F.; SILVA, T. R. B.; SANTOS, J. I.; POLETINE, J. P. Phosphorus fertilization influences grain yield and oil content in crambe. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 266-268, 2013.

SANTOS, F. S. **Adubação boratada na cultura do crambe em latossolos**. 2015. 36 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de energia na agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2015.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, USP, 1974.

SELEIMAN, M. F.; SANTANEN, A.; JAAKKOLA, S.; EKHOLM, P.; HARTIKAINEN H.; STODDARD, F. L.; MAKELA, P. S. A. Biomass yield and quality of bioenergy crops grown with synthetic and organic fertilizers. **Biomassa and bioenergy**, v. 59, p. 477-485, 2013.

SELEIMAN, M. F.; SANTANEN, A.; STODDARD, F. L.; MAKELA, P. Feedstock quality and growth of bioenergy crops fertilized with sewage sludge. **Chemosphere**, v. 89, p. 1211-1217, 2012.

SHAHEEN, S.; TSADILAS, C. Phosphorus Sorption and Availability to Canola Grown in an Alfisol Amended with Various Soil Amendments. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, p. 89-103, 2013.

SOARES, J.; LOREGIAN, H. B.; BRASIL, A. N.; NUNES, D. L.; GUERRA, J. B. **Potencial da torta de Crambe para produção de etanol**. Disponível em: <http://oleo.ufla.br/anais_06/artigos/614.pdf> Acesso em: 10 ago 2016.

SORATTO, R. P.; SOUZA-SCHLICK, G. D.; FERNANDES, A. M.; SOUZA, E. F. C. Effect of fertilization at sowing on nutrition and yield of crambe in second season. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 37, n. 3, p. 658-666, 2013.

TITO, G. A.; CHAVES, L. H. G.; VASCONCELOS, A. C. F. Acúmulo e translocação de cobre e zinco em plantas de *Crambe abyssinica*. **Revista verde de agroecologia e Desenvolvimento sustentável**, v. 11, n. 4, p. 12-16, 2016.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Acid digestion of sediments, sludges and soils. Metod 3050. Washington: EPA, 1996.

VARISCO, M. R.; SIMONETTI, A. P. M. M. Germinação das sementes de crambe sob influência de diferentes substratos e fotoperíodos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 1, p. 172-187, 2012.

VAZQUEZ, G. H.; LAZARINI, E.; CAMARGO, F. P.; FERREIRA, R. B.; PERES, A. R. Produtividade, qualidade fisiológica e composição química de sementes de crambe em diferentes doses de fósforo. **Biosci. J.**, v. 30, n. 3, p. 707-714, 2014.

WEI, Y.; LIU, Y. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. **Chemosphere**, v. 59, p. 1257-1265, 2005.

ZENATTI, R. H.; VIANNA, O. H.; FORNASARI, C. H. Produtividade de grãos e óleo da cultura do crambe em relação a doses de fertilizante. **Cultivando o saber**, v. 5, n. 4, p. 155-163, 2012.

ZULFIQAR, A.; PAULOSE, B.; CHHIKARA, S.; DHANKHER, O. P. Identifying genes and gene networks involved in chromium metabolism and detoxification in *Crambe abyssinica*. **Environmental Pollution**, v. 159, p. 3123-3128, 2011.