

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS
ISABELA REIS QUEIROZ

**CULTIVO DE CRAMBE (*Crambe abyssinica*) ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E
ECOGESSOS: POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

Teófilo Otoni

2019

ISABELA REIS QUEIROZ

**CULTIVO DE CRAMBE (*Crambe abyssinica*) ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E
ECOGESSOS: POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

Tese apresentada ao programa de pós-graduação em Biocombustíveis, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para o título de Doutora

Linha de Pesquisa: Ambiente e Sustentabilidade

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Sylvio Vieira da Costa
Coorientador: Prof. Dr. Ernane Ronie Martins

Teófilo Otoni

2019

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Q3c Queiroz, Isabela Reis

Cultivo de crambe (*Crambe abyssinica*) adubado com lodo de esgoto e ecogessos: potencial para produção de biodiesel / Isabela Reis Queiroz, 2020.
90 p. il.

Orientador: Alexandre Sylvio Vieira da Costa
Coorientador: Ernane Ronie Martins

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

1. Bicomcombustíveis. 2. Sustentabilidade. 3. Resíduos. 4. Oleaginosas. 5. Lodo de esgoto. I. Costa, Alexandre Sylvio Vieira da. II. Martins, Ernane Ronie. III. Título. IV. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 662.8


ISABELA REIS QUEIROZ

CULTIVO DE CRAMBE (*Crambe abyssinica*) ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E ECOGESSOS: POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

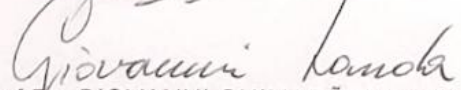
Tese apresentada ao DOUTORADO EM BIOCOMBUSTÍVEIS, nível de DOUTORADO como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTORA EM BIOCOMBUSTÍVEIS

Orientador (a): Prof. Dr. Alexandre Sylvio Vieira Da Costa

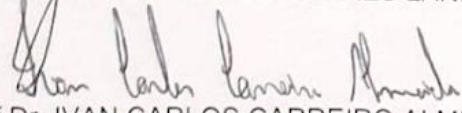
Data da aprovação : 18/12/2019



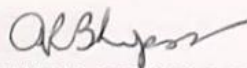
Prof.Dr. ALEXANDRE SYLVIO VIEIRA DA COSTA - UFVJM



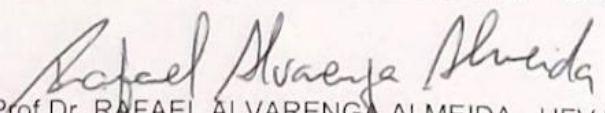
Prof.Dr. GIOVANNI GUIMARÃES LANDA - UNEC



Prof.Dr. IVAN CARLOS CARREIRO ALMEIDA - IFNMG



Prof.Dr.ª ARUANA ROCHA BARROS LOPES - UFVJM



Prof.Dr. RAFAEL ALVARENGA ALMEIDA - UFVJM

Aos meus amores, Joaquim Cesar Queiroz e Marise Freitas Reis.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me conceder a sabedoria nas escolhas dos melhores caminhos, coragem para acreditar, força para não desistir e proteção e amparo nos momentos mais difíceis;

À minha amada mãe, pelo amor angelical e incondicional e por todo tempo dedicado à minha criação e formação educacional. Mesmo não estando presente fisicamente, com certeza esteve comigo em todas as etapas do doutorado, me ajudando a tomar decisões e aplaudindo em cada fase concluída. Eternas saudades;

Ao meu pai pela confiança, dedicação, motivação, amor, carinho, cuidado e proteção. Papai você é meu herói, meu maior incentivador e exemplo de humildade;

Ao professor Dr. Ernane Ronie Martins pela resiliência e dedicação na orientação durante o mestrado e o doutorado. Grande exemplo de ética, competência e amor pela docência;

Ao professor Dr. Alexandre Sylvio pela paciência durante a orientação e empenho na busca de parcerias para execução do projeto.

Ao professor Dr. Eduardo Robson por abrir as portas do Instituto de Ciências Agrárias e me proporcionar experiências incríveis relacionadas ao ensino pesquisa e extensão;

A professora Dra. Fábila Magali pelo acolhimento, exemplo, inspiração e motivação para a construção da minha carreira acadêmica;

À meus queridos amigos biólogos, Franciellen Moraes e Wesley Alves, pelo incentivo, companheirismo e amparo. Vocês são as joias que Unimontes me deu;

As minhas primas Caroline e Pollyana por me carregarem no colo nos momentos mais difíceis e contribuírem com muito amor para a finalização dessa tese;

Aos meus padrinhos Claudio e Deuscedina, por serem incansáveis na missão de me proteger e educar;

A toda equipe e alunos da Escola Família Agrícola Serra dos Aimorés por serem durante o último ano do meu doutorado a minha família, compreendendo meus desafios e me dando a rica oportunidade de participar da edificação da educação no campo;

E a todos os professores, funcionários e colegas da UFMG e UFVJM que contribuíram para esta conquista. O meu muito obrigada e minha gratidão!

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

RESUMO

O crescimento mundial da demanda energética somado a eminência de esgotamento do petróleo e consequências ambientais, causadas pela queima dos fósseis, tem estimulado a procura por energias renováveis como os biocombustíveis produzidos a partir matérias primas vegetais. Neste contexto, o crambe destaca-se por ser rico em triglicerídeos, e possuir características favoráveis como alta produtividade, baixos custos de produção e fácil manejo. O crescimento da área plantada tem gerado uma carência sobre as exigências nutricionais da cultura, o que incentiva a busca por novas metodologias de cultivo. Uma alternativa de fertilização do solo promissora e ambientalmente correta é utilização de lodo nos substratos. O emprego de resíduos na agricultura, tem se destacado mundialmente por viabilizar a reciclagem de nutrientes e promover melhorias físicas e químicas no solo. Portanto o presente trabalho teve como objetivos avaliar a viabilidade da utilização do lodo de esgoto e ecogessos (advindo dos resíduos do desmonte de bateria) na cultura do crambe e quantificar e caracterizar o óleo extraído das sementes. O trabalho foi realizado no Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Minas Gerais, campus Montes Claros. Os experimentos foram instalados em delineamento estatístico inteiramente casualizado, em esquema fatorial $5 \times 2 \times 2$; sendo cinco doses de lodo de esgoto (0, 5, 10, 15 e 20 toneladas por hectare), dois ecogessos (calcítico 1 e dolomítico 2) e dois tratamentos adicionais (adubação convencional mais ecogesso 1 e adubação convencional mais ecogesso 2). Os dados foram submetidos a análise de regressão e testes de média através do software R. Para caracterizar os efeitos dos subprodutos sobre a cultura foram avaliadas as características biométricas, fenológicas, a produtividade de grãos, e teor de óleo nas sementes. Também foram analisados o índice de acidez e o perfil cromatográfico do óleo de crambe. Observou-se que para todas características relacionadas ao crescimento e desenvolvimento da oleaginosa as adubações com os lodos e ecogessos produziram resultados significativos se comparados a adubação convencional. As análises físico-químicas do óleo indicaram que o índice de acidez está de acordo com dos padrões indicados pela ANP e que o perfil cromatográfico não foi influenciado pela adubação alternativa, apresentando maior presença de ácidos graxos monoinsaturados. Conclui-se que o emprego desses resíduos na cadeia de produção do crambe é um fator que soma ao conceito de sustentabilidade dos biocombustíveis e reitera potencial da espécie para produção de biodiesel.

Palavras-chave: Biocombustíveis. Sustentabilidade. Resíduos. Oleaginosa. Lodo de esgoto

ABSTRACT

The worldwide growth in energy demand, coupled with the imminence of oil depletion and environmental consequences, caused by the burning of fossils, has stimulated the demand for renewable energies such as biofuel sources from plant sources. In this context, crambe stands out for being rich in triglycerides, and has favorable characteristics such as high productivity, low production costs and easy handling. The growth of the planted area has generated a shortage on the nutritional requirements of the crop, which encourages the search for new cultivation methodologies. A promising and environmentally friendly soil fertilization alternative is the use of sludge in the substrates. The use of waste in agriculture, has stood out worldwide to enable the recycling of nutrients and promote physical and chemical improvements in the soil. Therefore, this study aimed to evaluate the feasibility of using sewage sludge and eco-drains (resulting from battery disassembly residues) in the crambe culture and to quantify and characterize the oil extracted from the seeds. The work was carried out at the Institute of Agricultural Sciences of the Federal University of Minas Gerais, Montes Claros campus. The experiments were installed in a completely randomized statistical design, in a $5 \times 2 + 2$ factorial scheme; five doses of sewage sludge (0, 5, 10, 15 and 20 tons per hectare), two eco- gypsum (calcitic 1 and dolomitic 2) and two additional treatments (conventional fertilization plus eco- gypsum 1 and conventional fertilization plus eco- gypsum 2). The data were subjected to regression analysis and averaging tests using software R. To characterize the effects of by-products on the crop, biometric, phenological characteristics, grain yield, and oil content in the seeds were evaluated. The acidity index and the chromatographic profile of crambe oil were also analyzed. It was observed that for all characteristics related to the growth and development of the oilseed, fertilization with sludge and eco- gypsums produced significant results when compared to conventional fertilization. The physical-chemical analyzes of the oil indicated that the acidity index is in accordance with the standards indicated by the ANP and that the chromatographic profile was not influenced by the alternative fertilization, presenting a greater presence of monounsaturated fatty acids. It is concluded that the use of these residues in the crambe production chain is a factor that adds to the concept of sustainability of biofuels and reiterates the species' potential for biodiesel production.

Keywords: Biofuels. Sustainability. Waste. Oilseed. Sewage Sludge

LISTA DE ILUSTRAÇÕES DO CAPITULO I

Figura 1. Crambe (<i>Crambe abyssinica</i>).....	21
Figura 2. Reação de transesterificação	30

LISTA DE ILUSTRAÇÕES DO CAPITULO II

Figura 1. Superfície de resposta da altura do crambe (<i>Crambe abyssinica</i>) em função das doses (0, 5, 10, 15 e 20 t ha ⁻¹) de lodo não compostado (LNC), lodo compostado (LC) e ecogessos calcítico (G1) e dolomítico (G2) aplicados no substrato e dos dias após semeadura (DAP).....	57
Figura 2. Diâmetro (cm) (A, B), peso seco das sementes (g) (C, D), peso seco da parte aérea (g) (E, F) e porcentagem de óleo das sementes (G, H) de crambe (<i>Crambe abyssinica</i>) em função das doses (variando de 0 a 20 t ha ⁻¹) de lodo não compostado (LNC), lodo compostado (LC) e dos ecogessos calcítico (Gesso 1) e dolomítico (Gesso 2) aplicados no substrato.	58

LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO I

Tabela 1 - Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil 2015-2016.....	27
Tabela 2 - Especificação do biodiesel segundo a portaria ANP n°255 de 15/09/13	34

LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO II

Tabela 1 - Características químicas do lodo de esgoto não compostado e do lodo compostado utilizados como fertilizantes no cultivo de <i>Crambe abyssinica</i>	53
Tabela 2 - Limites da concentração máxima de metais tóxicos presentes no lodo ou derivados para aplicação no solo, e teores de metais tóxicos determinados nas amostras de lodo de esgoto não compostado e compostado.....	54
Tabela 3 - Características químicas e físicas do Neossolo do Cerrado utilizado como substrato para cultivo de <i>Crambe abyssinica</i>	54
Tabela 4 - Características químicas dos ecogessos utilizados no substrato para cultivo de <i>Crambe abyssinica</i>	55

Tabela 5 - Teste de comparação de médias entre tratamentos, para as variáveis altura (ALT), diâmetro do colo (DIAM), peso seco das sementes (PESO-SEM), peso seco da parte aérea (PESO-PA) e porcentagem de óleo nas sementes (PO) de acordo com a dose de lodo de esgoto não compostado (LNC) e compostado (LC) e dos ecogessos calcítico (Gesso 1) e dolomítico (Gesso 2) aplicados no substrato.....	57
--	----

LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO III

Tabela 1 - Características químicas e físicas do solo Neossolo utilizado como substrato para cultivo de <i>Crambe abyssinica</i>	71
Tabela 2 - Características químicas dos ecogessos utilizados no substrato para cultivo de <i>Crambe abyssinica</i>	72
Tabela 3 - Características químicas e físicas do Neossolo do Cerrado utilizado como substrato para cultivo de <i>Crambe abyssinica</i>	72
Tabela 4 -Limites da concentração máxima de metais tóxicos presentes no lodo ou derivados para aplicação no solo, e teores de metais tóxicos determinados nas amostras de lodo de esgoto não compostado e compostado.....	72
Tabela 5 - Tratamentos utilizados na adubação dos substratos para cultivo de <i>Crambe abissynica</i>	73
Tabela 6 - Valores médios do teor de óleo (%) e índice de acidez (mg KOH g / amostra ⁻¹) em óleo bruto de crambe obtidos em cada tratamento (composto por 12 variações de adubação nos substratos)	76
Tabela 7 - Composição em percentual de ácidos graxos do óleo extraído das sementes de <i>Crambe abyssinica</i> nos tratamentos (compostos por 12 variações de adubação nos substratos)	79
Tabela 8 - Composição em percentual de ácidos graxos do óleo crambe (<i>Crambe abyssinica</i>) de acordo com a literatura.....	80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 <i>Objetivo geral</i>	15
2.2 <i>Objetivos específicos</i>	15
CAPÍTULO I: <i>Crambe abyssinica</i>, BIODIESEL E UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO E ECOGESSOS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
RESUMO	16
ABSTRACT	17
3 INTRODUÇÃO	18
4 METODOLOGIA	20
5 REVISÃO	21
5.1 <i>Crambe (Crambe abyssinica)</i>	21
5.1.1 <i>Ocorrência, características botânicas e morfológicas</i>	21
5.1.2 <i>Ecologia da espécie</i>	22
5.1.3 <i>Características da cultura e condições de cultivo</i>	22
5.1.4 <i>Processamento de grãos e extração de óleo</i>	23
5.2 <i>Óleo de crambe e produção de biodiesel</i>	25
5.2.1 <i>Outras aplicações para o óleo de crambe</i>	25
5.3 <i>Combustíveis fósseis versus bicomcombustíveis</i>	25
5.3.1 <i>A matriz energética brasileira</i>	26
5.3.2 <i>Tratados e protocolos ambientais que incentivam o uso das energias renováveis</i>	28
5.4 <i>Biodiesel</i>	29
5.4.1 <i>O biodiesel e as vantagens de sua utilização</i>	29
5.4.2 <i>Produção de biodiesel</i>	29
5.5 <i>Métodos Clássicos de Análise dos Óleos</i>	31
5.5.1 <i>Índice de Acidez</i>	31
5.5.2 <i>Índice de Peróxido</i>	31
5.5.3 <i>Índice de Iodo</i>	31
5.5.4 <i>Viscosidade Cinemática</i>	32

5.5.5 Determinação do Tempo de Indução Oxidativa	32
5.5.6 Análise Cromatográfica dos Óleos Vegetais	33
5.5.7 Especificação do Biodiesel	33
5.6 Histórico do Biodiesel e perspectivas no Brasil	34
5.7 O Lodo de esgoto	35
5.7.1 Processo de obtenção do lodo e deposição final	35
5.7.2 Composição	35
5.7.3 Uso na agricultura	36
5.8 Gesso agrícola	38
5.8.1 Gesso: produção e reações no solo	38
5.8.2 Utilização do gesso na agricultura do Cerrado	39
5.8.3 Produção de ecogessos calcítico e dolmítico pela Antares Ambiental.....	39
6. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42

CAPITULO II: DESEMPENHO AGRONÔMICO DO CRAMBE (<i>Crambe abyssinica</i>) EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM LODO DE ESGOTO E ECOGESSOS.....	49
RESUMO.....	49
ABSTRACT	50
6 INTRODUÇÃO	51
7 MATERIAIS E MÉTODOS	52
8 RESULTADOS	56
9 DISCUSSÕES	60
10 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS	64

CAPÍTULO III: PROPRIEDADES QUÍMICAS E COMPOSIÇÃO DO ÓLEO DE CRAMBE CULTIVADO COM LODO DE ESGOTO ECOGESSOS: UMA ANÁLISE VISANDO A PRODUÇÃO DE BIODISEL	67
RESUMO.....	67
ABSTRACT	68
11 INTRODUÇÃO	69
12 MATERIAIS E MÉTODOS	71

13 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
14 CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS	83
15 COCLUSAO GERAL	87
16 ANEXOS	88

1. INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por fontes de energia renováveis pouco poluentes tem proporcionado aumento da procura de matéria prima vegetal para produção de combustíveis (TRZECIAK *et al.*, 2008). Neste contexto, o crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), nativo da região da África e pertencente à família *Brassicaceae*, surge como importante opção. Somado à alta produtividade aos baixos custos de produção e a colheita mecanizada, a espécie destaca-se pela presença de até 40% de óleo nas sementes (MASTEBROEK; LANGE, 1997).

O crambe é considerado uma planta não alimentícia devido ao seu elevado teor de ácido erúico nas sementes, sendo também utilizado na indústria de plásticos, lubrificantes e como isolante elétrico (CARLSON *et al.*, 1996; GOMES JR, 2010). Além disso, por apresentar ciclo curto, expressiva adaptabilidade e produção de biomassa, tornou-se opção em sistemas de rotação de cultura na região Centro-Oeste do Brasil, cultivado para servir de cobertura vegetal do solo no período de outono-inverno (JASPER *et al.*, 2010).

A escassez de informações quanto às exigências nutricionais da cultura do *Crambe abyssinica* incentiva a busca por novas alternativas de cultivo. Neste contexto, o emprego de sub produtos como lodo de esgoto e ecogessos (assim chamados por serem fabricados a partir de resíduos de bateria automotiva) no cultivo dessa oleaginosa, destaca-se como uma alternativa promissora. Além de proporcionar melhorias das características físico-químicas do substrato, o uso de resíduos na agricultura tem-se tornado cada vez mais atraente, também, pelos baixos custos e redução dos impactos ambientais relacionados aos demais métodos de disposição como deposição marítima, incineração ou aterros sanitários (GALDOS *et al.*, 2004).

Diante o exposto, o presente estudo objetivou avaliar a viabilidade da utilização do lodo de esgoto e ecogesso como fertilizante e condicionador do solo, na cultura do crambe destinada a produção de biodiesel.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade da utilização agrícola do lodo de esgoto e de ecogessos na cultura do *Crambe abyssinica* destinada a produção de biodiesel.

2.2 Objetivos específicos

- 1) Avaliar o crescimento, o desenvolvimento e a produção de óleo de crambe em resposta à aplicação do lodo de esgoto e ecogessos no substrato.
- 2) Determinar a dose adequada de lodo de esgoto e ecogessos para cultivo do crambe sugerindo uma técnica alternativa de fertilização da oleaginosa.
- 3) Caracterizar o efeito do lodo de esgoto e ecogessos sobre os atributos químicos e físicos do solo.
- 4) Avaliar fatores e variáveis ligados à adubação que possam influenciar ou interferir no rendimento do óleo e conseqüentemente do biodiesel.
- 5) Analisar a composição química e propriedades físico-químicas do óleo de crambe visando à otimização da produção de biodiesel.

CAPITULO I: *Crambe abyssinica*, BIODIESEL E UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO E ECOGESSOS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho fazer um levantamento das principais características da oleaginosa, *Crambe abyssinica*, abordando desde a ecologia e morfologia da espécie e até as condições de cultivo e produção de biodiesel. Visando incentivar a adoção de práticas ecologicamente corretas no ciclo de produção do crambe, discorreu-se também sobre a utilização de subprodutos na agricultura. O trabalho trata-se de um estudo qualitativo, realizado por meio de uma revisão de literatura sobre o *Crambe abyssinica*, o biodiesel e a aplicação de lodo de esgoto e ecogessos na agricultura. Analisou-se materiais bibliográficos produzidos entre os anos de 1970 à 2019 indexados em bases de dados nacionais e internacionais. Verificou-se que devido o ciclo curto e alta produção de triglicerídeos nas sementes o crambe apresenta elevado potencial para a produção de biodiesel. Somado a isso a cultura demonstra características interessantes ao produtor, como: baixo custo de produção, tolerância à variação de temperatura e estresse hídrico e pode ser utilizada em rotação de culturas e como cobertura do solo. Com a revisão foi possível descrever o perfil cromatográfico do óleo de crambe e ratificar a eminência do esgotamento de combustíveis fósseis e do aumento da demanda energética do Brasil e do mundo. Confirmou-se as vantagens ambientais (diminuição de emissão de gases tóxicos, reciclagem de nutrientes e deposição ambientalmente correta de resíduos urbanos) da utilização de biodiesel e da aplicação de lodo de esgoto e gessos advindos de resíduos de bateria (ecogessos), na agricultura. Diante destas considerações, verificou-se a viabilidade do cultivo de *Crambe abyssinica*, em substrato a base de lodo de esgoto e ecogessos, para a produção de biodiesel.

Palavras-chave: Crambe, Biocombustíveis, Lodo de esgoto, Ecogesso, Sustentabilidade

CHAPTER I: *Crambe abyssinica*, BIODIESEL AND USE OF SEWAGE SLUDGE AND ECO-GYPSUM IN AGRICULTURE: A BIBLIOGRAPHIC REVIEW

ABSTRACT

The objective of this work was to make a survey of the main characteristics of the oilseed, *Crambe abyssinica*, covering from the ecology and morphology of the species to the conditions of cultivation and production of biodiesel. In order to encourage the adoption of ecologically correct practices in the crambe production cycle, the use of by-products in agriculture was also discussed. The work is a qualitative study, carried out through a literature review on *Crambe abyssinica*, biodiesel and use of sewage sludge and eco-gypsum in agriculture. Bibliographic materials produced between the years 1970 to 2019 were analyzed and indexed in national and international databases. It was found that due to the short cycle and high production of triglycerides in the seeds, the crambe has high potential for the production of biodiesel. In addition, the crop shows interesting characteristics to the producer, such as: low production cost, tolerance to temperature variation and water stress and can be used in crop rotation and as a soil cover. With the review, it was possible to describe the chromatographic profile of crambe oil and ratify the eminence of fossil depletion and the increase in energy demand in Brazil and the world. The environmental advantages (reduction of emission of toxic gases, recycling of nutrients and environmentally correct deposition of urban waste) were confirmed by the use of biodiesel and the application of sewage waste and plaster from battery waste (eco-gypsum) in agriculture. In view of these considerations, the viability of *Crambe abyssinica* cultivation was verified, in substrate based on sewage sludge and eco-plaster, for the production of biodiesel.

Keyword: *Crambe*, Biofuels, Sewage sludge, Eco-gypsum, Sustainability

3. INTRODUÇÃO

O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), espécie vegetal da família das crucíferas, vem se destacando em terras brasileiras por apresentar características como: rusticidade, precocidade, tolerância ao déficit hídrico e ciclo de produção reduzido, cerca de 90 dias. Além disso, o crambe apresenta-se como uma importante alternativa para a rotação de culturas e pode ser cultivado na safrinha, em boa parte do cerrado brasileiro, não competindo com as culturas principais e as alimentares. Outra vantagem em relação a produção da oleaginosa é seu cultivo totalmente mecanizado com equipamentos e estruturas (semeadoras, colhedoras, armazéns) utilizados em outras culturas, como na soja (ROSCOE & DELMONTES, 2008).

Por apresentar até 40% de óleo em suas sementes e poder ser cultivado na safrinha, o crambe representa uma promissora opção para a produção de biodiesel, tendo em vista que os óleos utilizados para este fim são advindos de culturas anuais, principalmente de ciclo primavera/verão, faltando alternativas para o outono/inverno que permita dar continuidade à produção (BISPO *et al.*, 2010). O biodiesel (produto obtido através do processo de transesterificação de óleos e gorduras de origem vegetal ou animal) é considerado um biocombustível já que é produzido a partir de fontes renováveis e biodegradáveis. Os biocombustíveis emitem compostos poluentes em menor quantidade do que os combustíveis fósseis no processo de combustão dos motores e sua cadeia de produção tende a ser mais limpa. (KNOTHE *et al.*, 2007; PETROBRAS, 2018)

O uso do biodiesel no Brasil proporciona o desenvolvimento de uma fonte energética sustentável sob o viés ambiental, econômico e social, tornando o país menos dependente do petróleo importado, aumentando a oferta de emprego, diminuindo o êxodo rural e valorizando as pesquisas e novas tecnologias de produção do biocombustível (BORSATO *et al.*, 2010). A gradativa elevação do percentual de adição de biodiesel ao diesel aponta o êxito do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel somado a isso destaca a experiência positiva do país na fabricação e empregabilidade dos biocombustíveis (GUARIEIRO *et al.*, 2008).

Atualmente percebe-se uma demanda da população em relação a necessidade de que os processos de produção se tornem cada vez mais limpos e sustentáveis. Incentivados pela busca por tecnologias capazes de diminuir impactos ambientais, os agricultores tem reutilizado resíduos do tipo lodo de esgoto e gesso (produzido a partir de reciclagem de baterias automotivas) para compor substratos destinados ao plantio de diversas culturas (VIEITES, 2010, NOBILE, 2010). A aplicação desses resíduos no solo além de ser uma opção de

disposição adequada dos mesmos, pode proporcionar melhorias das características físico-químicas do substrato e tem-se tornado cada vez mais atraente, também, pelos baixos custos (GALDOS *et al.*, 2004).

Devido o potencial da cultura observa-se um crescente interesse no cultivo do crambe no Brasil, no entanto percebe-se uma escassez de informações em relação as exigências nutricionais e formas de cultivo alternativas para a espécie (SORATTO *et al.*, 2013). Neste contexto, essa revisão de literatura teve como objetivo agrupar e discutir aspectos ecofisiológicos e botânicos do cultivo do *Crambe abyssinica*, abrangendo a produção de biodiesel a matriz energética brasileira e a utilização de resíduos ambientais.

4. METODOLOGIA

O trabalho trata-se de um estudo qualitativo realizado por meio de uma revisão sistemática sobre o *Crambe abyssinica*, o biodiesel e a utilização de resíduos como lodo de esgoto e ecogessos na agricultura.

Analisou-se materiais bibliográficos produzidos entre os anos de 1970 á 2019 disponíveis nas bases de dados Scopus, Google acadêmico, Science direct, Periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), World Wide Science e Scielo (Scientific Electronic Library Online). Também foram analisadas, leis, decretos e documentos normativos relacionados ao tema.

Utilizou-se para consultas nas bases de dados e plataformas as palavras-chaves: crambe, biodiesel, biocombustíveis, matriz energética mundial, oleaginosas, agricultura sustentável, utilização de resíduos na agricultura, lodo de esgoto, adubação alternativa, gesso e correção do solo. Procedeu-se, à análise do material, seguindo-se as etapas: leitura exploratória, leitura seletiva e leitura analítica/ interpretativa. Por fim, definiu-se os tópicos e subtópicos e redigiu-se o texto.

5. REVISÃO

5.1 Crambe (*Crambe abyssinica*)

5.1.1 Ocorrência, características botânicas e morfológicas

O *Crambe abyssinica* Hochst é um membro da família *Brassicaceae* que contém cerca de trinta espécies, distribuídas principalmente na região do Mediterrâneo. O único membro cultivado é o *Crambe abyssinica*, também conhecido como *Abyssinian kale* (DESAI, 2004).

A espécie chegou ao Brasil na década de 90 através materiais vindos do México, foi quando pesquisadores da Fundação Mato Grosso do Sul e Paraná desenvolveram a primeira cultivar brasileira, chamada FMS Brilhante, produtiva e adaptada às condições país (PITOL *et al.*, 2010). Na época, a planta era estudada somente para fins de rotação de cultura, atualmente as pesquisas estão voltadas para produção de óleo para fins industriais como biodiesel, cosméticos, lubrificantes e isolantes térmicos (OLIVA, 2010).

A cultivar FMS Brilhante (Figura 1) origina uma planta herbácea, com aproximadamente um metro de altura, cuja haste ramifica-se próxima ao solo formando dezenas de galhos, que novamente se ramificam, formando galhos terciários (DESAI *et al.*, 1997). As folhas do crambe são ovais e assimétricas com lâmina foliar lisa de aproximadamente 10 cm de comprimento e 7,6 cm de largura. O pecíolo possui aproximadamente 20 cm de comprimento e é pubescente (OPLINGER *et al.*, 2008). As flores do Crambe são amarelas ou brancas e produzem um grande número de sementes pequenas.

Figura 1. *Crambe abyssinica*



Fonte: Arquivo pessoal

5.1.2 Ecologia da espécie

O *Crambe abyssinica* é uma espécie anual, floresce em média aos 35 dias após a semeadura e seu ciclo pode durar até 95 dias, quando a planta seca. A planta apresenta características como rusticidade, fácil adaptabilidade a solos de baixa fertilidade, resistência à seca e pragas e alta produtividade de óleo nas sementes (35 a 40 %) (NEVES *et al.*, 2007). O fruto do crambe é uma siliqua verde que se torna amarelo com a maturidade, seu tamanho varia consideravelmente no diâmetro (0,8 a 2,6 mm), sendo influenciado pelo número de grãos por planta, fertilidade do solo e regime hídrico (DESAI *et al.*, 1997).

As sementes são ortodoxas, albuminosas, têm o eixo embrionário curvo, e apresentam a plúmula protegida por uma fina cobertura mucilagínosa (CRUCIFERAE, 1985). As sementes ainda são envolvidas por uma estrutura tegumentar denominada pericarpo, cuja funções são: proteção com abrasões e choques, barreira contra microrganismos, preservação do poder germinativo. A tolerância do crambe a estiagem está relacionada à sua capacidade de enraizamento profundo. Com um sistema radicular pivotante, sua raiz atinge 150 centímetros de comprimento.

5.1.3 Características da cultura e condições de cultivo

De acordo com Toebe *et al.* (2010) e Pilau *et al.*, (2011), a cultura de *Crambe abyssinica* vem ganhando destaque no Brasil devido a sua tolerância à seca e ao frio (é capaz de resistir sem maiores danos a temperaturas de até -6 °C), sua adaptabilidade, sua precocidade e sua produtividade. Além do potencial produtivo, o crambe, quando cultivado no período de rotação de culturas, ocupa áreas ociosas e contribui na melhoria do solo através da sua cobertura. Considerada recicladora de nutrientes do solo, aproveita adubações residuais de espécies antecessoras e responde a adubações no plantio. Segundo Rogério *et al.*, 2013, observa-se nas plantações de crambe uma redução no uso de fertilizantes e água quando comparada a outras oleaginosas.

O cultivo do *Crambe abyssinica* é totalmente mecanizável e os custos de produção são relativamente baixos (ONOVEROLI, 2012). Para o estabelecimento de um hectare de crambe são necessários entre 12 e 15 quilos de sementes dispostas em espaçamentos que variam de 15 e 70 cm. Segundo Roscoe *et al.* (2007), o crambe produz de 1.200 a 1.500 kg de sementes resultando em aproximadamente 570 kg de óleo, com custo de produção de R\$ 250 por hectare.

O retorno para o produtor varia de 30% a 60% em relação ao investimento inicial. (KNIGHTS, 2002).

A oleaginosa apresenta sensibilidade quanto à acidez e para seu cultivo, e solos ácidos devem ser corrigidos até pH entre 6,0 a 7,5. Visando a um desenvolvimento adequado, o solo também deve apresentar mediana fertilidade, sendo que a profundidade do solo entre 20 a 40 centímetros deve conter baixa saturação de Al^{3+} (PITOL *et al.*, 2010). Recomenda-se densidade de 8 a 22,5 kg ha⁻¹ de sementes, e profundidade de semeadura de 0,03 metros (KNIGHTS, 2002). A espécie requer da semeadura até o estabelecimento por volta de 150 a 200 mm água e necessita de umidade do solo próximo à capacidade de campo (próximo a saturação, com todos os microporos ocupados com água) para seu desenvolvimento inicial. Após o florescimento, a ausência de chuva propicia o melhor desenvolvimento e redução na incidência de doenças (MOERS *et al.*, 2012).

Quando os elementos minerais essenciais, como o nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) não estão disponíveis, a planta tem dificuldade de expressar o seu potencial e completar seu ciclo de vida (MALAVOLTA, 1980). Neste sentido, a aplicação de fertilizantes de forma eficiente é fundamental para garantia de alta produtividade. Para o crambe, as respostas em relação aos fertilizantes são pouco conhecidas, sabe-se que é uma planta que absorve grande quantidade de nitrogênio devido ao elevado teor de proteínas nos grãos (SOUZA *et al.*, 2009). Devido a escassez de estudos até pouco tempo utilizava-se as recomendações de NPK (50 kg/ha de P₂O₅, 90 kg/ha de K₂O e 90 a 112 kg/há de nitrogênio) de grãos como soja, para a cultura. Um estudo mais recente, de Soratto *et al.* 2013, propõe a utilização de 300 kg de NPK (4-14-8) em um hectare destinado a plantação de crambe. No que diz respeito ao enxofre a recomendação é de (22,5 a 28 kg/ha) em solos com baixo teor do mineral (OPLINGER *et al.*, 1991).

5.1.4 Processamento de grãos e extração de óleo

Ao término do ciclo, as folhas do crambe tendem a amarelar, secar e conseqüentemente cair, em seguida os frutos também passam pelo mesmo processo. A partir deste momento chega-se ao ponto de colheita que pode ser realizado colhedora automotriz comum, necessitando apenas de ajustes em sua peneira. O processamento do crambe é parecido ao de outras oleaginosas. Os principais métodos utilizados para extração de óleo são a prensagem mecânica e extração por solventes. No entanto, antes do processo de extração, é

necessário realizar o descascamento, limpeza, secagem e desintegração dos grãos (CARVALHO, 2011).

A extração mecânica é considerada a etapa em que ocorre a separação de líquidos e de sólidos através do emprego de forças de compressão, tendo como principal resultado o resíduo conhecido como torta (BRENNAN *et al.*, 1990). Para a extração mecânica utilizam-se equipamentos rudimentares como: prensas hidráulicas, que são mais utilizadas em instalações menores; e prensas contínuas que possuem maior capacidade. As prensas contínuas possuem uma rosca ou parafuso sem fim que esmaga o material, liberando o óleo. As prensas hidráulicas (prensagem descontínua) são dotadas de um cilindro perfurado onde se desloca um êmbolo que faz pressão na matéria-prima (que fica dentro de um saco de pano ou lona). (CARVALHO, 2011).

O procedimento de extração por solvente (hexano, propano, diclorometano) é uma operação no qual ocorre separação ou isolamento de uma substância e é muito empregado na indústria de alimentos. A extração se dá pela penetração do solvente na semente, que é previamente triturada, e promove a remoção do óleo através da atração molecular e difusão. Em processos de prensagem hidráulica, a torta ainda pode conter cerca de 6% de óleo residual, enquanto em processos com extração por solvente esta quantidade é inferior a 1% (TANDY, 1991). Existem ainda outras formas de separação entre o óleo e a torta, como: destilação; extração supercrítica com emprego de CO₂ como solvente; e por fervura caseira (BERNARDOGIL *et al.*, 2002).

5.2 Óleo de crambe e produção de biodiesel

A semente do crambe possui elevado teor de ácidos graxos de alto peso molecular (aproximadamente 35%), e desses a predominância é do ácido erúcico (em média 55%), seguido então do ácido oleico (aproximadamente 17%) (TOEBE, 2010). A grande porcentagem de ácido erúcico deixa o óleo impróprio para consumo humano por que é digerível apenas por ruminantes. No entanto, torna-o uma interessante alternativa para a produção de biodiesel devido as propriedades como: tolerância à temperaturas elevadas e maior degradabilidade em comparação aos seus homólogos a base de petróleo (ONOVEROLI, 2012, LAZZERI *et al.*, 1997).

As vantagens do biodiesel produzido a partir do óleo de *Crambe abyssinica*, são: pronta disponibilidade, renovabilidade, poder calorífico superior e menor teor de enxofre se

comparado com diesel fóssil, baixo ponto de fusão (-12°C) e alta estabilidade oxidativa (ROSCOE *et al.*, 2010; NO, 2011). Na pesquisa realizada por Wazilewski *et al.* (2012), concluiu-se que o biodiesel de crambe atende às normativas quanto ao tempo mínimo, 6 horas, à 110 °C, exigido para o período de indução (tempo que um óleo leva para iniciar o processo de degradação). Além disso, o ponto de fulgor (mínimo 100 °C) e densidade (entre 860 a 900 kg m⁻³) também se encontraram dentro das faixas ótimas. Contudo, apresenta índices de acidez, que é aceitável até 0,8 mg KOH/g, superior a 1 mg KOH/g, necessitando ser neutralizado.

5.2.1 Outras aplicações para óleo de crambe

Devido a sua habilidade de formar polímeros a seco, o óleo de crambe, pode ser usado como óleo para formação de pastas e pintura, como lubrificante industrial, como inibidor de corrosão e como ingrediente para fabricação de borracha sintética. Ele também pode ser utilizado para produzir filmes plásticos, nylon, adesivos e para isolamento elétrico. Ainda pode ser empregado na produção de emolientes, em especial para produtos destinados à pele e condicionadores de cabelo (REGITANO-D'ACE, 2008).

5.3 Combustíveis fósseis versus bicomcombustíveis

Os combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto e gás natural) surgiram quando, há milhões de anos, a matéria orgânica deteriorada foi comprimida no subsolo sofrendo um conjunto de alterações físico-químicas (RAMAGE, 1997). Todas essas fontes de energia têm reservas finitas (por este motivo são considerados fontes de energia não renováveis), uma vez que é necessário muito tempo para as repor, e a sua distribuição geográfica não é homogênea. Quimicamente os combustíveis fósseis são formados por uma soma complexa de hidrocarbonetos, além de pequenas quantidades de compostos orgânicos que contêm enxofre, nitrogênio e oxigênio. É uma substância oleosa e inflamável com forte odor e coloração muito escura (BRICE, 1990; BOBIN, 1999).

Agência Internacional de Energia (AIE) publicou em seu relatório anual World Energy Outlook, de 2010, que a produção de combustíveis fósseis deve atingir seu pico por volta de 2035, logo após sofrerá queda drástica. Vários estudos apontam o esgotamento das fontes de energia fóssil para os próximos 40 ou 50 anos, destacando-se a necessidade de buscar outras fontes alternativas (AIE, 2010).

Neste contexto, os bicomcombustíveis têm atraído a atenção de países de todo o mundo, visto que é um combustível que pode eliminar a dependência do petróleo, além de trazer diversos benefícios ambientais e econômicos. Percebe-se uma perseverante busca global pela redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e sulfetos que são produtos da queima dos combustíveis fósseis (LOVELOCK, 2009).

Os bicomcombustíveis são combustíveis produzidos a partir de fontes de energia renováveis (plantas, sol, vento, água, biomassa, micro-organismos e hidrogênio) capazes de se regenerar e, logo, inesgotáveis. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), as fontes renováveis de energia terão participação relevante na matriz energética global nas próximas décadas. A maior preocupação com questões ambientais e os acordos internacionais para estimular as bases de desenvolvimento sustentável estão estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico que vislumbram a redução de custos da produção de tecnologias para uso de fontes renováveis (MME, 2017).

Uma vantagem da produção de bicomcombustíveis a partir de matéria prima vegetal é que a produção pode ser controlada: planta-se mais em caso de maior demanda, ou menos, em momentos de sobre oferta. Além disso, de acordo com diversas pesquisas científicas, as plantas que originam os bicomcombustíveis absorvem gás carbônico do ar, de modo a reduzir o efeito estufa e também, compensar o gás carbônico que será emitido na queima do combustível (MME, 2008).

Outras vantagens de utilizar bicomcombustíveis: no caso específico do Brasil, há grande áreas já desmatadas para cultivo de outras plantas que podem ser usadas para a produção de bicomcombustíveis; geração de emprego e renda no campo (isso evita o inchaço das cidades); menor investimento financeiro em pesquisas (as pesquisas de prospecção de petróleo são muito dispendiosas se comparadas às por buscas de novas tecnologias para produção de bicomcombustíveis); redução da geração de resíduos (MME, 2008).

5.3.1 A matriz energética brasileira

Atual matriz energética brasileira ainda é suprida, em sua maioria, pela energia não renovável. Na Tabela 1 mostra a composição da Oferta Interna de Energia de 2015 e 2016. Observa-se um pequeno aumento na participação das fontes renováveis, como resultado, principalmente, da forte retração das não renováveis (-7,3%). O agregado “Outros Renováveis” (eólica, biodiesel, lixívia e outros resíduos de biomassa), com crescimento de 10,1% (14,8%

em 2015 e 19,5% em 2014), e a hidráulica (7%), deram sustentação ao aumento relativo das renováveis (MME, 2017).

Tabela 1: Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil 2015-2016.

Especificação	mil tep			Estrutura %	
	2015	2016	16/15 %	2015	2016
Não renovável	175.903	162.975	-7,3	58,7	56,5
Petróleo e derivados	111.626	105.354	-5,6	37,3	36,5
Gás natural	40.971	35.569	-13,2	13,7	12,3
Carvão mineral e derivados	17.625	15.920	-9,7	5,9	5,5
Urânio e derivados	3.855	4.211	9,2	1,3	1,5
Outras não renováveis	1.826	1.921	5,2	0,6	0,7
Renovável	123.668	125.345	1,4	41,3	43,5
Hidráulica e eletricidade	33.897	36.265	7	11,3	12,6
Lenha e carvão vegetal	24.900	23.095	-7,2	8,3	8,0
Derivados da cana de açúcar	50.648	50.318	-0,7	16,9	17,5
Outras renováveis	14.223	15.667	10,1	4,7	5,4
TOTAL	299.570	288.319	-3,8	100,0	100,0
<i>dos quais fósseis</i>	172.047	158.763	-7,7	57,4	55,1

Fonte: Ministério de Minas e Energia- Resenha Energética Brasileira- Julho 2017

A oferta hidráulica reverteu as taxas negativas de 3,2% em 2015 e de 5,6% em 2014. No agregado “Lenha e Carvão Vegetal”, com recuo de 7,2% (-1,7% em 2015), o uso de carvão vegetal na produção de ferro-gusa, com baixa de 16,7%, teve a maior contribuição relativa. Neste contexto, as fontes renováveis passaram a uma participação de 43,5% na demanda total de energia de 2016 (OIE), ante os 41,3% verificados em 2015(MME, 2017).

Em razão da menor geração de energia elétrica por fontes fósseis no Brasil, em 2016, a relação entre as emissões de CO₂ pelo uso de energia e a demanda total de energia ficou em 1,48 tCO₂/tep, indicador inferior ao de 2015 (1,55 tCO₂/tep). As expressivas participações da energia hidráulica e da bioenergia na matriz energética brasileira proporcionam indicadores de emissões bem menores do que a média mundial (2,34 tCO₂/tep) e dos países desenvolvidos (2,23 tCO₂/tep). Em 2014, a China e os Estados Unidos, com emissões de 14.101 milhões (M)

de tCO₂, responderam por 43,6% das emissões mundiais, que totalizaram 32.348 MtCO₂. Em 2010, a participação foi menor, de 41,8% (MME, 2017).

Em termos de presença de fontes renováveis na matriz de energia, é notável a vantagem do Brasil, registrando 43,5% de participação em 2016, contra 16,9% dos outros países. O mundo registra indicador médio de 14,2% (MME, 2017).

5.3.2 Tratados e protocolos ambientais que incentivam o uso das energias renováveis

Segundo Le Prestre (2000), pode-se definir três fases na evolução da política ambientalista internacional: a primeira, vai do fim do século XIX à Conferência da Unesco de 1968; em seguida, o início das discussões das questões ambientais no cenário internacional, ao final dos anos 1960, que deu origem a um período de ativismo intenso, após o qual decorreu certo cansaço em um contexto internacional difícil (1968-1986). E por fim, assiste-se a uma ressurgência e a uma nova presença das questões ambientais, caracterizadas pela multiplicação, aceleração e complexificação das interações internacionais e das questões tratadas desde 1987.

Em meados de 1980 se discutiu efetivamente sobre mudanças climáticas globais na esfera internacional. Tal processo resultou na realização de conferências mundiais convocadas pela ONU. Esses encontros estabeleceram normas sobre a redução de emissões de gases de efeito estufa e traçaram metas a serem atingidas por países de vários continentes. A partir de então os temas ambientais ganharam mais espaço nos debates entre os principais líderes mundiais e contribuíam para estabelecer articulações entre setores que antes se encontravam à margem desse processo (LE PRESTRE, 2000).

A Conferência de Estocolmo de 1972 foi o marco inicial, sendo a primeira reunião a repercutir diretamente na formação de regimes internacionais ambientais (OLIVEIRA, 2011). Vinte anos depois aconteceu a (Eco 92), realizada no Rio de Janeiro e teve como principal objetivo obter, através de negociações, a redução na concentração de gases estufa na atmosfera, limitando a interferência do homem nos sistemas climáticos (MAZZUOLY, 2004). Logo após ocorreram o encontro de Kyoto (1998), Rio+10 (2002), a Conferência de Bali (2007), a Conferência de Copenhague (2009), a Conferência do Clima da ONU de Durban (2011), o Rio +20 (2012) e a Conferência do Clima da ONU em Paris (2015) (MMA, 2015).

De 1972 até hoje os objetivos das conferencias não foram alterados, ao contrário, adicionaram-se medidas em busca de soluções para o aquecimento global, efeito estufa, mudanças climáticas, controle da poluição, preservação de áreas verdes (contra o

desmatamento), preservação das áreas polares, diminuição da pobreza mundial entre outros. A principal ferramenta agora é um sistema de metas nacionais, onde cada país se estrutura considerando sua promessa de redução das emissões, que, agora serão revisadas de cinco em cinco anos (MMA, 2012). O ponto negativo dos protocolos é que não existe nenhum tipo de punição àquele que descumprir as medidas de redução de emissão de gases, dentre os mais poluidores destacam as potências EUA e China.

5.4 Biodiesel

5.4.1 O biodiesel e as vantagens de sua utilização

A definição mais usualmente aplicada à palavra biodiesel é a de um combustível biodegradável, produzido a partir de fontes naturais e renováveis, capaz de substituir, diretamente ou em mistura, o diesel derivado de petróleo na operação de motores ciclo diesel. Knothe *et al.* (2007) relatam que o biodiesel é um combustível praticamente livre de enxofre, substâncias aromáticas e compostos sulfurados. Jasper (2009) explica que o fato do biodiesel não possuir enxofre e compostos aromáticos, proporciona uma combustão mais limpa e sem compostos cancerígenos. Por isso, é classificado como um combustível ecológico.

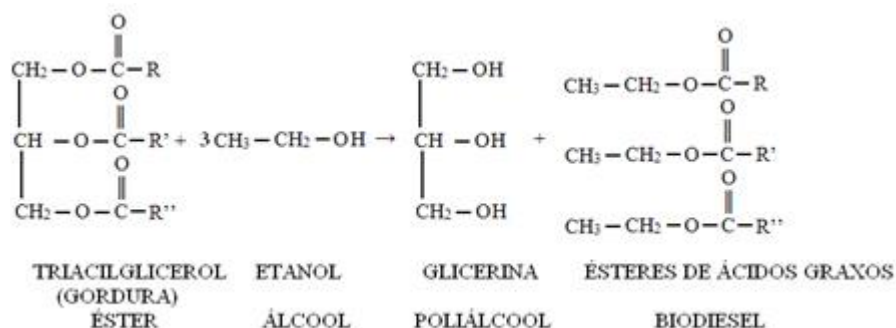
De acordo com Pinto *et al.* (2001), o biodiesel poder ser utilizado em qualquer tipo de motor a diesel, com pouca ou nenhuma necessidade de adaptação. Por não ser mais inflamável que os congêneres de natureza petrolífera, o transporte armazenamento e manuseio mostra-se muito mais seguro. A possibilidade de produção em pequena escala também vem sendo destacada em vários países, melhorando a economia de regiões mais isoladas, possibilitando a produção para consumo próprio de produtores rurais (CHIARANDA *et al.*, 2005).

5.4.2 Produção de biodiesel

A fabricação do biodiesel é feita pelo processo de transesterificação (Figura 2), na qual os ácidos graxos que compõe a gordura ou óleo vegetal, com ajuda de um solvente como o etanol, são separados da glicerina (composto orgânico pertencente à função álcool). O processo origina dois produtos: os ésteres (nome químico do biodiesel) e a glicerina (poliálcool

utilizado no mercado de sabões); além de coprodutos (torta, farelo etc.) que podem gerar outras fontes de renda importantes para os produtores (ABDALLA *et al.*, 2008).

Figura 2. Reação de transesterificação



De acordo com Geris (2007), transesterificação é um termo geral usado para descrever uma importante classe de reações orgânicas em que um éster é transformado em outro através da troca do resíduo alcoxila. Quando o éster original reage com um álcool, o processo de transesterificação é denominado alcoólise. Para a obtenção de biodiesel, a reação de transesterificação de óleos vegetais com álcoois primários pode ser realizada tanto em meio ácido quanto em meio básico, contudo, a presença de um catalisador (ácido ou base) acelera consideravelmente esta conversão, como também contribui para aumentar o rendimento da mesma.

As matérias-primas necessárias para produção do biodiesel provêm de óleos vegetais, gordura animal, óleos e gorduras residuais, sendo que as fontes vegetais são as mais variadas e consideradas as mais viáveis até o momento (CHIARANDA *et al.*, 2005). As principais matérias-primas utilizadas para a produção do biodiesel de acordo com Abdalla *et al.* (2008) são: óleo de soja, óleo de algodão, sebo bovino, óleo de palma, e óleo de girassol. Outras oleaginosas também apresentam potencial para a produção do biodiesel, dentre elas: babaçu, canola, gergelim, macaúba, pinhão manso e crambe.

A produção de biodiesel a partir de algas também tem sido pesquisada, estas tem um potencial de produção de óleo muito superior por área equivalente de cultivo se comparadas as culturas tradicionais produzidas em terra e utilizadas na produção do biodiesel. As algas despertaram o interesse mundial e as pesquisas e estratégias dos investidores são, em sua maioria, mantidas em segredo (DEFANTI, 2010).

5.5 Métodos clássicos de análise dos óleos

5.5.1 Índice de acidez

O índice de acidez revela o estado de conservação de óleos e gorduras e pode ser definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres de 1,0 g da amostra (IAL, 2008). A hidrólise parcial dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre (MORETTO; FETT, 1998). Entretanto, tal característica não pode ser considerada uma constante dos óleos vegetais, podendo variar conforme o grau de maturação e condições de armazenamento das sementes ou frutos usados para extração da matéria graxa, a temperatura e tempo do processo de extração e das condições de armazenagem do óleo.

5.5.2 Índice de peróxido

O índice ou teor de peróxidos é um indicador do grau de oxidação do óleo ou gordura e sua presença, indício de deterioração, pode ser verificada com a mudança do sabor e do odor característicos dos óleos (REDA, 2004). A determinação do índice de peróxidos ocorre pela adição de solução de iodeto de potássio saturada à amostra. Os íons iodeto reagem com os peróxidos, produzindo I_2 , quem ficam em solução. Ao adicionar o amido, como indicador, este em presença de I_2 ficará azul. Ao titular-se a solução com tiosulfato de sódio, este é oxidado a tetratioato de sódio e o iodo é reduzido a I^- , causando a perda da cor azulada. Assim, a quantidade de tiosulfato consumida é proporcional à quantidade de peróxidos presentes na amostra (BACCAN *et al.*, 2003).

5.5.3 Índice de iodo

O índice de iodo é usado para medir o grau de insaturação de óleos e gorduras. É um importante indicador de provável desenvolvimento de degradação da matéria graxa, sendo usado para determinar as propriedades químicas e físicas dos óleos (REDA, 2004). Valores elevados para o índice de iodo podem indicar maior propensão à ocorrência de processos oxidativos na molécula do ácido graxo insaturado. Os ácidos graxos contendo ligações duplas carbono-carbono reagem com iodo, de modo que, quanto maior o número de insaturações maior

é o índice de iodo, podendo ser expresso em termos do número de centigramas de iodo absorvido por grama da amostra (% iodo absorvido), em condições específicas de ensaio (IAL, 2008).

5.5.4 Viscosidade cinemática

A viscosidade de um material pode ser definida como a propriedade física dos fluidos que caracteriza a sua resistência ao escoamento. Esta propriedade é variável nos óleos vegetais e dependente do grau de insaturação e tamanho das cadeias graxas que os compõem. Podendo também ser influenciada pela presença de ramificações e posicionamento das insaturações (PARK; LEITE, 2010).

Os ácidos graxos saturados se encontram em uma conformação linear, flexível em estado de menor energia, possibilitando uma interação molecular mais efetiva, enquanto os ácidos graxos insaturados apresentam dobramentos na cadeia carbônica, para cada dupla ligação presente. A presença dessas insaturações na molécula torna as interações moleculares menos eficientes e a viscosidade menor. (CURI *et al.*, 2002).

A determinação da viscosidade nos óleos vegetais é importante e pode limitar a escolha da matéria-prima que dará origem ao biodiesel. A viscosidade nos óleos pode favorecer as propriedades de lubricidade do biocombustível, entretanto, valor elevado para este parâmetro (entre 3,0 a 6,0 mm²/s a 40°C) pode gerar um produto fora das especificações da Agência Nacional de Petróleo, mesmo quando estes são submetidos à reação de transesterificação. Tais características tendem a comprometer o fluxo e atomização do biodiesel. Para amenizar este problema são utilizadas etapas de tratamento prévio desses óleos, como o processo de refino

5.5.5 Determinação do tempo de indução oxidativa

Existem vários métodos empregados para determinar a resistência à oxidação, ou seja, o tempo de indução oxidativa (OIT) de uma substância. Dentre eles, citam-se o Método de estufa, Active Oxygen Method (AOM), Oil Stability Instrument (OSI), Rancimat, PetromOXY e Calorimetria Exploratória Diferencial sob Pressão (PDSC) (KNOTHE, 2007).

O tempo de indução oxidativa (OIT) é definido como o tempo do início da oxidação de uma amostra exposta a um gás oxidante em uma determinada temperatura. Este parâmetro é também utilizado como ferramenta para controle de qualidade e classificação da

eficiência de vários inibidores de oxidação que são adicionados em polímeros, lubrificantes, gorduras, óleos e biodiesel. Segundo American Oil Chemists' Society - AOCS (1999) a determinação da estabilidade oxidativa de óleos e gorduras, segue a metodologia Cd 12b-92. De acordo com esta metodologia, pode-se utilizar na determinação da estabilidade oxidativa de óleos e gorduras, os equipamentos Rancimat ou OSI (ANTONIASSI, 2001), que medem o período de indução (PI), que pode ser estabelecido como o tempo necessário para formação de uma concentração de radicais reativos, detectáveis pelo equipamento.

5.5.6 Análise cromatográfica dos óleos vegetais

O desenvolvimento de técnicas que permitam a elucidação qualitativa e quantitativa de espécies químicas, a exemplo da Cromatografia em Fase Gasosa de Alta Resolução, acoplado a espectrômetro de massa (CGAR-MS), possibilitou o crescimento do estudo de óleos e gorduras, desvendando sua composição completa em ácidos graxos, em tempo relativamente curto. De modo a viabilizar a análise cromatográfica de óleos vegetais, estes comumente passam por um processo de esterificação, em que os ácidos graxos são convertidos em compostos mais voláteis, como ésteres metílicos ou etílicos destes ácidos graxos (MILINSK, 2007), favorecendo o processo de eluição da amostra. O processo de esterificação é necessário para evitar reações entre os ácidos graxos presentes nos óleos e a fase estacionária das colunas capilares utilizadas nas análises de CGAR.

5.5.7 Especificação do biodiesel

Devido à facilidade de se produzir o biodiesel, um grande problema que vem sendo enfrentado não é a certificação de sua qualidade, uma vez que produzi-lo de modo a se encaixar perfeitamente em todos os parâmetros da ANP (Tabela 2) é algo mais complexo.

Tabela 2: Especificação do biodiesel segundo a portaria ANP n°255 de 15/09/13.

Característica	Unidade	Limite
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0 a 6,0
Teor de água, máx.	mg/kg	(2)
Ponto de fulgor, mín. (3)	°C	100,0
Teor de éster, mín	% massa	96,5
Resíduo de carbono, máx. (4)	% massa	0,050
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020
Enxofre total, máx.	mg/kg	10
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	(7)
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,80
Glicerol total, máx.	% massa	0,25
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,20
Índice de Iodo	g/100g	Anotar
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.	h	6

Fonte: Agência Nacional do Petróleo- Maio de 2013

5.6 Histórico do biodiesel e perspectivas no Brasil

O aproveitamento de óleos vegetais como matéria-prima para combustíveis não é recente. As primeiras experiências com motores de combustão por compressão foram conduzidas com óleo de amendoim. No ano 1900, o próprio Rudolph Diesel apresentou um protótipo que foi acionado com óleo de amendoim. Contudo, a abundância da oferta de petróleo e o seu preço acessível determinaram que, nos anos seguintes, os derivados do petróleo fossem os combustíveis preferidos, reservando os óleos vegetais para outros usos (PLÁ, 2003).

A II Guerra Mundial cortou o abastecimento e causou escassez de combustíveis, estimulando a busca de sucedâneos, no entanto, o desenvolvimento dos combustíveis de origem vegetal foi praticamente abandonado quando o fornecimento de petróleo foi restabelecido no final da Guerra (PLÁ, 2003).

No Brasil, desde a década de 1920, o Instituto Nacional de Tecnologia – INT já estudava e testava combustíveis alternativos e renováveis. Na década de 1970, a Universidade Federal do Ceará – UFC desenvolveu pesquisas com o intuito de encontrar fontes alternativas de energia. A partir de então diversas universidades vem estudando de forma mais minuciosa e tecnológica o tema (HOLANDA, 2004). Atualmente há um incentivo por parte do governo, através de programas vinculados aos Ministérios da Agricultura, da Ciência e da Tecnologia e da Energia, visando desenvolvimento tecnológico e social do biodiesel.

Em 13 de Janeiro de 2005, a lei 11.097, introduziu o biodiesel na matriz energética Brasileira. A referida Lei dispunha que, até 2013, haveria um percentual mínimo obrigatório de 5% de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado em qualquer parte do território nacional. No ano de 2014 anunciou-se a ampliação de 6% e 7% no total da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel. Em março de 2017 começou a valer a resolução que eleva a composição de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor para 8% (B8). Ainda de acordo com a medida, as composições foram elevadas para 9% e 10%, respectivamente, a partir de 1º de março de 2018 e 1º de março de 2019 (MME, 2017).

De acordo com o governo, após a criação do programa nacional de produção e uso de biodiesel, foi formada uma rede de fomento e desenvolvimento que auxiliou inúmeros pequenos produtores. Em 2014 o Brasil possuía 83 mil agricultores e 77 cooperativas participando da produção de insumos para o biodiesel. A cada 1% de biodiesel adicionado ao combustível convencional, é reduzido 0,7% na emissão de gases nocivos (ANP, 2014).

5.7 O lodo de esgoto

5.7.1 Processo de obtenção do lodo e deposição final

O lodo de esgoto ou biossólido é o resultado do tratamento dos resíduos líquidos urbanos (domésticos, comerciais e industriais) encaminhados por meio das redes coletoras às estações de tratamento de esgoto (ETEs). Os vários sistemas de tratamento originam lodos com características físicas e químicas distintas (SANTOS, 2009). De modo geral, ocorre uma depuração biológica das águas residuais com posterior separação da fase líquida da sólida.

Grande parte do lodo gerado nos sistemas de tratamento do país tem como destino final os aterros sanitários, sistema oneroso e que limita a reciclagem e o reaproveitamento pois nestes locais o lodo pode misturar a substâncias tóxicas. Outros métodos de descarte final são: incineração, descarte nos oceanos, reuso industrial e reuso agrícola (SILVA *et al.*, 2000).

5.7.2 Composição

A composição química do lodo pode variar em função do local de origem (residências ou indústrias, por exemplo), da época do ano e do sistema de tratamento empregado (BETTIOL; CAMARGO, 2000). As características qualitativas e quantitativas do lodo também

estão relacionadas com ao tipo de urbanização, aos hábitos sanitários, às condições ambientais e ao perfil de saúde da comunidade que gera o resíduo (PROSAB, 1999)

O lodo de esgoto doméstico provém principalmente das residências, dos edifícios comerciais ou de quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas onde um grupo restrito utilize água pra fins particulares. Esse resíduo possui na sua composição 99,9% de água e 0,01% de sólidos, matéria orgânica, nutrientes e microrganismos. Do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais etc.) (PROSAB, 1999).

O lodo de esgoto industrial é resultado de qualquer utilização de água para fins industriais, adquirindo características próprias em função, por exemplo, do processo de produção empregado e do sistema de tratamento utilizado pela empresa (FERREIRA *et al.*, 1999). Raramente os lodos são tratados para remoção de constituintes inorgânicos (PROSAB, 1999).

Em relação à fertilidade, o lodo de esgoto típico apresenta em torno de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio e 2% de fósforo e demais macro e micronutrientes. É relatada, em muitos casos, o baixo teor de potássio (SIMONETE, 2003). As características físicas do lodo, com ênfase na granulometria, estão intimamente ligadas aos processos de secagem ao qual o resíduo é submetido. De modo geral, o lodo destaca-se pela presença de matéria orgânica que melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminuindo sua densidade e aumentando a sua aeração (MELO; MARQUES, 2000).

5.7.3 Uso na agricultura

A aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas, como fertilizante orgânico ou condicionador do solo, vem crescendo substancialmente no Brasil, seguindo uma tendência mundial e acompanhando a demanda gerada pelo acentuado crescimento no volume de esgoto tratado no país (TSUTIYA, 2001).

Somado às suas características físico-químicas favoráveis, como grande quantidade de nutrientes e matéria orgânica, o uso do lodo de esgoto na agricultura tem-se tornado cada vez mais atraente, também, pelos baixos custos e redução dos impactos ambientais (GALDOS *et al.* 2004).

Pesquisas, principalmente com grandes culturas como soja e milho, indicam que o lodo de esgoto proporciona desenvolvimento e produtividade maior ou igual ao proporcionado pelos fertilizantes convencionais (ANDREOLI; PEGORINI, 2000).

Nascimento *et al.* (2004), ao estudarem o efeito da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto sobre o crescimento das plantas de milho e feijão cultivadas em casa de vegetação, concluíram que todos os tratamentos aumentaram a produção de matéria seca das duas culturas. Quintana *et al.* (2004) afirmaram que a substituição da fertilização nitrogenada inorgânica por lodo de esgoto proporcionou a melhoria de alguns parâmetros da couve brócolos de cabeça única (*Brassica oleraceae*), tais como número de folhas comercializáveis, diâmetro médio de caule e de cabeça, e peso médio de cabeça. Ao avaliarem a eficiência do lodo de esgoto como fonte de fósforo, em comparação ao superfosfato triplo, aplicado em doses equivalentes, Silva *et al.* (2002) constataram que o lodo foi mais eficiente em estimular a produção.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio da resolução N° 375/2006, define os critérios e procedimentos para a utilização do lodo de esgoto no meio agrícola e florestal. Segundo essa resolução, a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir os seguintes aspectos: potencial agronômico; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos, agentes patogênicos, e, estabilidade (CONAMA, 2006).

Para a caracterização do potencial agronômico do lodo de esgoto ou produto derivado, deverão ser determinados, de acordo com a resolução N° 375/2006, os seguintes parâmetros: carbono orgânico, fósforo total, nitrogênio Kjeldahl, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato/nitrito, pH em água, potássio total, sódio total, enxofre total, cálcio total, magnésio total, umidade e sólidos voláteis e totais (CONAMA, 2006)..

As análises de substâncias inorgânicas a serem realizadas nas amostras de lodo de esgoto ou produto derivado e de solo devem permitir a determinação da totalidade da substância pesquisada que esteja presente na amostra bruta. Para a determinação dos elementos: As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn nas amostras de lodo de esgoto ou produto derivado e de solo, deve-se empregar os métodos estabelecidos no U.S. EPA. Os resultados devem ser expressos em grama ou miligrama do parâmetro por quilo de lodo em base seca.

Em relação aos indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos as análises devem permitir a determinação da totalidade de coliformes termotolerantes (coliformes fecais),

salmonella, ovos viáveis de helmintos, vírus entéricos também pelos métodos estabelecidos no U.S.EPA (CONAMA, 2006).

5.8 Gesso agrícola

5.8.1 Gesso: produção e reações no solo

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – sulfato de cálcio) é um subproduto das indústria de fertilizantes fosfatados (originado do ação ácido sulfúrico sobre a rocha fosfatada) que também é produzido de forma similar em jazidas gipsitas. (OLIVEIRA *et al.*, 2012)

No período de 1974 a 1984 foram produzidos pela indústria brasileira de fertilizantes fosfatados aproximadamente 16 milhões de toneladas de gesso agrícola. Por se tratar de um subproduto e não possuir adequada finalidade, o gesso permanecia estocado em depósitos (ROCHA, 1985). A partir desse período, iniciaram-se pesquisas voltadas para a utilização do gesso na agricultura.

Percebeu-se que a aplicação do gesso provoca alterações em profundidade no solo decorrente da maior solubilidade e reações do sulfato de cálcio, quando comparada ao calcário (ERNANI *et al.*, 2001). No entanto, tais alterações ocorrem apenas posteriormente à correção da acidez superficial do solo, através da calagem.

Após a dissolução do gesso, o sulfato (SO_4^{-2}) acompanhado por cátions, movimenta-se para as camadas inferiores no solo, possibilitando o fornecimento de nutrientes como o cálcio, magnésio e potássio em profundidade. Além disso, o maior teor de cálcio dissociado do sulfato promove o deslocamento do alumínio do complexo de troca (Al^{+3}) para a solução, formando o par iônico AlSO_4^+ não tóxico às culturas (RITCHEY *et al.*, 1980; SOUSA *et al.*, 1992; RAMPIM *et al.*, 2013). O gesso também promove efeitos benéficos nas propriedades físicas do solo, podendo aumentar a infiltração e a capacidade de retenção de água. Isso ocorre como resultado da elevação da floculação da argila, possibilitando maior estabilidade para os agregados, redução da densidade e a prevenção do encrostamento superficial (ROSA JUNIOR *et al.*, 2007).

Em decorrência dos efeitos benéficos do gesso sobre as propriedades químicas e físicas dos solos, sua utilização favorece o melhor aproveitamento da água disponível no solo pelas culturas, devido ao aumento do volume de solo explorado pelas raízes, reduzindo os efeitos negativos ocasionados por veranicos (SOBRAL *et al.*, 2009).

5.8.2 Utilização do gesso na agricultura do Cerrado

A agricultura no Cerrado antecedente à década de 1970 era realizada em pequena escala em áreas com solos de maior fertilidade natural, principalmente, para subsistência e com uso de pecuária extensiva. Tais condições estavam relacionadas às limitações climáticas e principalmente aos baixos teores de nutrientes apresentados pelos Latossolos, classe de solo predominante e que ocupa 46% da área no Cerrado (CASTRO *et al.*, 2011). Isso tornava a agricultura inviável ou de alto risco, na ausência de técnicas que favorecessem a correção das propriedades químicas dos solos (SOUSA; REIN, 2011).

Tendo em vista as características de fornecer nutrientes em profundidade, corrigir a toxidez de alumínio melhorando o ambiente radicular e proporcionar melhor aproveitamento da água no perfil do solo o gesso tornou-se uma importante alternativa para a agricultura no Cerrado. Com o objetivo de reduzir as perdas de produtividade na região, vem sendo amplamente utilizado (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

A adoção da gessagem para a agricultura no Cerrado evoluiu a partir da última década, principalmente para aquelas culturas de elevada importância econômica para o agronegócio brasileiro. No período de 1999 a 2012 o uso do gesso para a cultura de soja cresceu em 6,46 vezes, passando de 76 mil para 491 mil toneladas. Na cultura do milho a utilização cresceu 3,83 vezes no período de 1999 a 2007 (EMBRAPA, 2013). O incremento em produtividade a partir da aplicação do gesso vem sendo observado na maioria das culturas anuais, com destaque para milho, soja, algodão e trigo. Em algodão e soja, observou-se incremento de 44,4% e 21,2%, respectivamente, em resposta a aplicação de 3 Mg ha⁻¹ de gesso (SOUSA *et al.*, 2008). No trigo verificou-se incremento linear para a produtividade em função das doses de gesso (RAMPIM *et al.*, 2013).

5.8.3 Produção de ecogessos calcítico e dolomítico pela Empresa Antares Ambiental

Fundada em 1992, o Grupo Antares atua no tratamento de efluentes e resíduos sólidos e já realizou projetos para diferentes segmentos industriais brasileiros. O foco da empresa é a reciclagem e regeneração de produtos químicos, tornando-os adequados à reutilização em outros processos industriais.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) filiada ao Global Ecolabelling Network (GEN) é a responsável pela certificação dos processos desenvolvidos pela Antares Reciclagem, após o atendimento de rigorosos critérios de qualidade em suas unidades de reciclagem a empresa hoje é a única no Brasil a atuar neste segmento e obter o Selo Verde.

O Programa Ecológico de Reciclagem – EcoÁcido, tem por objetivo a reciclagem de soluções de ácido sulfúrico residual gerado em empreendimentos industriais diversos, promovendo sua efetiva descontaminação para ser utilizada em novos processos fabris. Dessa forma, o Programa EcoÁcido™, passou a promover a transformação de um resíduo industrial que anteriormente era tratado e neutralizado em ETE – Estações de Tratamento de Efluentes e posteriormente descartados no meio ambiente, em matéria-prima recuperada para fabricação de novos produtos.

A produção do ecogesso calcítico e ecogesso dolomítico consiste basicamente em uma reação físico-química de neutralização. É inserido em um reator a solução de ácido sulfúrico reciclado de baterias automotivas a 12% +- 3% v/v e adicionados calcário calcítico ou dolomítico até pH acima de 6,0. Posteriormente ocorre a decantação separando a parte líquida (água de neutralização) que é destinada para tratamento e reuso, da parte mais pastosa que é o gesso ainda úmido (lama). Esse gesso é conduzido para filtro prensa, no qual é retirado o excesso de umidade. Logo após o material é secado com auxílio de um secador rotativo ou em bags suspensos. O gesso seco é acondicionado em um galpão coberto até o momento de expedição.

A reação de produção do gesso ecológico calcítico é: $(\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2)$. Este carbonato de cálcio utilizado na reação é oriundo de fábrica de celulose e resultante do processo de branqueamento de fibras em que se utiliza o CaO. O ecogesso dolomítico é obtido pela reação: $(\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{Mg})\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2)$. Após o cálculo da concentração de neutralização do ácido, é aplicado um excedente de calcário dolomítico ou calcítico para que os gessos possam atingir valores de pH acima de 6,5 e atuar também como corretivo agrícola.

6. CONCLUSÕES

A revisão de literatura sobre o crambe apontou qualidades, que favorecem seu cultivo para produção de biodiesel, como: alta produtividade de matéria seca e óleo, e baixos custos de produção. Somado a isso, a aplicação industrial (matéria prima para tintas, lubrificantes e isolantes elétricos), possibilidade da colheita mecanizada, ciclo curto e a resistência a variação de temperatura são características que agregam valor ao cultivo da espécie.

O biodiesel, um biocombustível líquido formado a partir da transesterificação de óleos vegetais e gorduras animais, é uma fonte de energia renovável que tem potencial para substituir o uso de combustíveis fósseis. Dentre suas principais características destacam-se a biodegradabilidade e o baixo teor poluentes. A utilização de biocombustíveis fortalece a preservação e manutenção do meio ambiente e contribui para que as atuais e futuras gerações não sejam prejudicadas pelo uso indiscriminado dos recursos naturais .

A matriz energética brasileira é bastante diversificada, existem políticas governamentais de incentivo ao aumento da utilização de biocombustíveis, contudo, as fontes de energia não renováveis (advindas do petróleo) ainda predominam em relação as fontes renováveis (fontes que se renovam na natureza em um curto espaço de tempo).

A utilização do lodo compostado, não compostado e ecogessos calcítico e dolomítico são alternativas viáveis de adubação para o crambe, tendo em vista que já favoreceram o crescimento e desenvolvimento de inúmeras espécies inclusive as oleaginosas, somado a isto podem agregar maior sustentabilidade ao ciclo de produção da planta.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO, J. C.; GODOI, A. R.; CARMO, C. A.; EDUARDO, J. L. P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.260-258, 2008.
- AIE; World Energy Outlook OECD-IEA, International Energy Agency, Paris, 2010
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás Biodiesel no Brasil: uma análise da regulação e seus reflexos na diversificação das matérias-primas usadas no processo de produção natural e biocombustíveis 2014. Disponível em , <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/05/governo-aumenta-porcentagem-de-biodiesel-no-diesel> acesso em 2015
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: **Impacto ambiental do usado lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 281-312.
- BERNARDO-GIL, M.; RIBEIRO, G.; ESQUÍVEL, M. M. Produção de extratos para a indústria alimentar: uso de fluídos supercríticos. **Boletim de Biotecnologia**, POR, v.73, p.14-21, 2002.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **ECONOMIA E EMPREGO Percentual obrigatório de biodiesel no óleo diesel passa para 8%**. Brasília: MME, 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Comunicação Institucional do Abastecimento da Petrobras Newscday Consultoria de Comunicação e Marketing. Biocombustíveis: 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado. 46 p, 2008.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Meio Ambiente- acordos globais. Brasília: MMA, 2012. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/01/acordos-globais>. Acesso 2017.
- BRENNAN, J. G.; BUTTERS, J. R.; COWELL, N. D.; LILLEY, A. E. V. Food engineering operations. Linton Road, England: **Elsevier Applied Science**, 1990.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EmbrapaMeioAmbiente, 2000.
- BISPO, A. S.; DELFINO, L. D.; COSTA, B. J.; SUCHEK, E. M.; ADÃO, D. C.; FONSECA, F. C.; ZAGONEL, G. F.; ADAD, L. B.; MAIA, M.; SILVA, P. R.; VECHIATTO, W. W. D. Caracterização de óleos vegetais extraídos mecanicamente sob condições variadas, visando a produção de biodiesel. In: 4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel; 7º

Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 2010, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte, MG: TECPAR, 2010.

BOBIN, J. A Energia”. Lisboa: Instituto Piaget, 1999

BRICE, R. Do petróleo ao plástico. Lisboa: Círculo de Leitores, 1990

BORSATO, D.; DALL’ANTONIA, L. H; GUEDES, C. L. B.; MAIA, E. C. R.; FREITAS, H. R.; MOREIRA, I.; SPACINO, K. R. Aplicação do delineamento simplexcentroide no estudo da cinética da oxidação de biodiesel B100 em mistura com antioxidantes sintéticos. *Química Nova*, v. 33, n. 8, p. 1726-1731, 2010.

CASTRO, W. J.; LEMKE-DE-CASTRO, M. L.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, L. F. C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C. C. Erodibilidade de Solos do Cerrado Goiano. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá**, v.4, n.2, p.305-320, 2011.

CARLSON, K. D.; BAKER, E. C.; MUSTAKAS, G. C. Processing of *Crambe abyssinica* seed in commercial extraction facilities. **Journal Of American Oil Chemists Society** v. 62, p. 897-905, 1996.

CARVALHO, C. O. de; Comparação entre Métodos de Extração do Óleo de Mauritia Flexuosa L. F. (Arecaceae - Buriti) para o Uso Sustentável na Reserva de Desenvolvimento Tupé: Rendimento e Atividade Antimicrobiana. Dissertação (Mestrado), Pós-Graduação em Biotecnologia e Recursos Naturais. UEA. Manaus – AM. 2011.

CHIARANDA, M., ANDRADE JUNIOR, A. M., OLIVEIRA, G. T. A Produção de Biodiesel e aspectos do PNPB. Disponível em: Acesso em 14/09/2008. Piracicaba, 2005.

CRUCIFERAE. Handbook of seed technology for genebanks Vol. II. Compendium of Specific Germination Information and Text Recommendations.1985. Chap. 32. Disponível em: <http://www2.bioversityinternational.org/publications/Web_version/52/>. Acesso em: 16 Nov. 2008.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). **Resolução n° 375**, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano/>>. Acesso 29 set. 2015.

DESAI, B. B. **Seed’s handbook: biology, production processing and storage**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2004. 787 p.

DESAI, B. B.; KOTTECHA, P. M.; SALUNKHE, D. K. **Seeds handbook: biology, production processing and storage**. New York: Marcel Dekker, 1997. 627 p.

DEFANTI, A, LEONARDO, S. Produção de biocombustíveis a partir de algas fotossintetizantes. *Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobras e If Fluminense*, Rio de Janeiro, p.11-21, nov. 2010.

EMBRAPA. Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela EMBRAPA – 2013. Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. Acessado 02 Fevereiro, 2014.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.825-831, 2001.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. **Produção e características do biossólido. In: Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**. Rio de Janeiro: PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), 1999.

FERREIRA, F. M.; SILVA, A. R. B. Produtividade de grãos e teor de óleo da cultura do crambe sob diferentes sistemas de manejo de solo em Rondonópolis – MT. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p, 1-11, 2011.

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

GALDOS, M. V; MARIA, I. C. de.;CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 28, p. 569-577, 2004.

GOMES JR., S. B. Avaliação técnica e econômica da aplicação de óleo vegetal de crambe como isolante elétrico em comparação com óleo de soja. Curitiba, 2010. 100 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante - PRODETEC) Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e Instituto de Engenharia do Paraná).

GUARIEIRO, L. L. N.; PINTO, A. C.; AGUIAR, P. F.; RIBEIRO, N. M. Metodologia analítica para quantificar o teor de biodiesel na mistura biodiesel: diesel utilizando espectroscopia na região do infravermelho. *Química Nova*, v. 31, n. 2, p. 421-426, 2008.

HOLANDA, A. Biodiesel e Inclusão Social. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2004.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; SILVA, P. R. A.; SEKI, A. S.; BUENO, O. C. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.395-403, 2010.

KNIGHTS, S. E. Crambe: **A North Dakota Case Study**, 25 p. 2002

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. Manual de biodiesel. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

LAZZERI, L.; DE MATTEI, F.; CRAMBE OIL – A potencial new hydraulic oil and quenchant. **Industrial Lubrication and Tribology**. v.49, n.2, p. 71-77. 1997.

LE PRESTRE, P. Ecopolítica Internacional. Trad. Jacob Gorender. – São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2000.

LOVELOCK, J., Gaia: Alerta Final. Editora Intrínseca Ltda., Rio de Janeiro, 264p, 2009.

MASTEBROEK, H. D.; LANGE, W. Progress in a crambecross breeding programme. **Industrial Crops and Products**, v.6, p. 221-227, 1997.

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

MAZZUOLI, V. O. A proteção internacional dos direitos humanos e o direito internacional do meio ambiente. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, v. 9, n. 34, p. 97-123, abr./jun. p. 105, 2004.

MEAKIN, S.; Gerpen, V. J.; Krahl, J.; Ramos, L. P. *Crambe abyssinica*, a Comprehensive Programme, Springdale Crop Synergues Ltda, Rudston, 2005.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p.109-142, 2000.

MOERS, E. M.; KUHN, O. J.; GONÇALVES JR., A. C.; FRANZENER, G.; STANGARLIN, J.R. Levantamento de doenças na cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) na região oeste do Paraná. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.11, n.1, p.35-48, 2012

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.385-392, 2004.

NEVES, M. B.; TRZECIAK, M. B.; VINHOTES, P. S.; TILLMANN, C. A. C.; VILLELA, F. A. Qualidade fisiológica em cultura de crambe produzidas em Mato Grosso do Sul. EMBRAPA 2007. Disponível em: http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/Agroenergia_2007/Agroener/trabahaos/Outras%20culturas.../Neves_1.pdf. Acesso em: 23 out. 2009.

NO, S.; Inedible vegetable oils and their derivatives for alternative diesel fuels in CI engines: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.15, pág.131-149. 2011.

NOBILE, F. O. Uso de resíduos na agricultura. *Revista Uniara*, v. 12, n.2, dez. 2009

OLIVA, A. C. E. de. **Qualidade de sementes de crambe submetidas a métodos de secagem e períodos de armazenamento**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu, 2010.

OLIVEIRA, F. M. C., BORGES, L. E. P., MELO, E. B. de; BARROS, M. L. S. C. Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita do Araripe. *HOLOS*, Natal, v.5, p.71-82, 2012.

OLIVEIRA, A. Regimes Internacionais e a Interação entre a OMC e os Acordos Ambientais Multilaterais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em <

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95020/294694.pdf?sequence=1> Acesso em 20 Abr 2015.

ONOREVOLI, B. **Estudo do *Crambe abyssinica* como Fonte de Matérias Primas oleaginosas: óleo vegetal, ésteres metílicos e bio-óleo.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre –RS. 2012.

OPLINGER, E. S; OELKE, E. A, KAMINSKI, A. R; PUTNAM, D. H; TEYNOR, T. M; DOLL, J. D; KELLING, K. A; DURGAN, B. R; NOETZEL, D. M. *Crambe: alternative field crops manual* (1991). Department of Agronomy and Soil Science, College of Biological Sciences and Extension agricultural cooperative. University of Wisconsin – Madison

PETROBRAS- Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-deenergia/biocombustiveis/>. Acesso em: 24/08/2018.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção: crambe.** Maracaju: Fundação MS, 2010. 60 p.

PILAU, F. G.; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; SCHWERZ, L. Temperatura basal, duração do ciclo e constante térmica para a cultura do crambe. *Agrometeorologia. Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 4, p.958-964, 2011.

PLA, Juan Algorta. Histórico do Biodiesel e suas Perspectivas. Julho 2003. Disponível em: Artigo eletrônico disponível em <<http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 22 set 14

PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico). **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura.** Rio de Janeiro: 97p, 1999.

QUINTANA, N. R. Características agronômicas de couve brócolos de cabeça única (*Brassica oleraceae* var. *italica*, híbrido decathlon) cultivado sob diferentes compostos contendo biossólido In: SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1., 2004, Botucatu. **Anais...** Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP, 2004.

RAMAGE, J. (1997), *Guia da Energia*. Lisboa: Monitor

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em Latossolo Vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v.34, n.4, p.1623- 1638, 2013.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em Latossolo Vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v.34, n.4, p.1623- 1638, 2013

RAIJ, B. V. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agronômico, 2008 a. p. 12-23.
RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M. D.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Gypsum applications to coffee: influence on calcium, magnesium and potassium contents and pH of the solution of a dystrophic Red Latosol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.4, p.1018-1026, 2013

REGITANO-D'ARCE, M. Grãos e óleos vegetais - matérias primas. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 7, n. 1, p. 1-14, 2008

RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in Brazilian savannah oxisol. **Agronomy Journal, Madison**, v.72, n.1, p.40-44, 1980.

ROCHA, M. Difusão do uso agrícola do fosfato. In: I Seminário sobre o Uso de Fosfogesso na Agricultura. Anais... IBAFOS, Brasília, 1985

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.

ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, n.1, p.37-44, 2007.

ROSCOE, R.; RICHETTI, A.; MARANHO, E. Análise de viabilidade técnica de oleaginosas para produção de biodiesel em Mato Grosso do Sul. **Revista de Política Agrícola**, v.16, p.48-59, 2007.

ROSCOE, R.; DELMONTES, A. M. A. Crambe é nova opção para biodiesel. *Agrianual* 2009. São Paulo: Instituto FNP, 2008. p. 40-41.

ROSCOE, R.; BROCH, D. L.; NERY, W. S. L. Análise de Sensibilidade dos Modelos Agrícolas e Industrial de Utilização do Óleo de Crambe na Cadeia Produtiva de Biodiesel em Mato Grosso do Sul. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa – PB. 2010.

SANTOS, E. B. **Atributos físicos e químicos de um solo degradado cultivado com eucalipto e braquiária após reaplicação de biossólido**. 2009. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UNESP. 2009.

SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D.; SMYTH, T. J. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.13, p.836-839, 2009.

SORATTO, R. P. et al. Effect of fertilization at sowing on nutrition and yield of crambe in second season. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 37, n. 3, p.658-666, 2013

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A. Soil Fertility Evaluation and Control for Annual Crops in the Cerrado. *Better Crops*, p. 12, 2011.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.38, n.4, p.928- 935, 2008.

- SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. R.; LOBATO, E.; RITCHEY, K. D. Sugestões para a diagnose e recomendação de gesso em solos de Cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2. 1992, Anais... Uberaba. São Paulo: IBRAFOS, p. 139-158 1992.
- SILVA, J. E.; RESK, D.V.S.; SHARMA, R. D. Alternativa agrônomicapara o bio-sólido: a experiência de Brasília. In: Bettioli, W.; Camargo, O. A. (ed.). In: **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 312 p. 2000.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agrônômica para o bio-sólido produzido no Distrito Federal: I. efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.487-495, 2002.
- SIMONETE, M. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1187-1195, 2003.
- SOUZA, A. D. V.; FÁVARO, S. P.; ÍTAVO, L. C. V; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.44, p.1328-1335, 2009.
- TANDY, D. C. Oil seed extraction. In: WAN, P. J. Introduction to fats and oils technology. Champaign, Illinois: **American Chemists' Society**, 1991.
- TOEBE, M.; BRUMI, B.; LOPES, S. J.; CARGNELUTTI FILHO, A.; SILVEIRA, T. R. Estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais. **Ciência Rural**, v.40, p.475-478, 2010.
- TERSHIKH, V. V; ZENG, Y; FEURTADO, J. A; GIBLIN, M; ABRAMS, S. R; KERMO, S. R. Deterioration of western redcedar (*Thuja plicata* Donn ex D. Don) seeds: protein oxidation and in vivo NMR monitoring of storage oils. **Journal of Experimental Botany**, v.59, p.765-777, 2008.
- TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de bio-sólidos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Bio-sólidos na agricultura**. São Paulo, SABESP, 2001. 468 p.
- VIEITES, R. G. Agricultura Sustentável: Uma alternativa ao modelo convencional. **Revista Geografar**, Curitiba, v.5, n.2, p.01-12, jul./dez. 2010.
- WAZILEWSKI, W. T.; ROSA, H. A.; et al. Avaliação de Propriedades Físico-químicas do Biodiesel Metílico de Óleo de *Crambe abyssinica* hochst. **Jornal of Agronomic Science**, v.1, n.1, pag. 187-195. 2012

CAPÍTULO 2. DESEMPENHO AGRONÔMICO DO CRAMBE (*Crambe abyssinica*) EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM LODO DE ESGOTO E ECOGESSOS

RESUMO

As projeções de crescimento populacional, a eminência de esgotamento do petróleo e as consequências ambientais causadas pela queima dos combustíveis fósseis têm estimulado a demanda por energias renováveis. Neste contexto, o crambe destaca-se por ser rico em triglicerídeos, sendo uma importante matéria prima vegetal para produção de biodiesel. Objetivou-se com este estudo avaliar a viabilidade da utilização do lodo de esgoto associado a ecogessos para cultivo do crambe. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Instituto de Ciências Agrárias da UFMG. O lodo foi utilizado na forma não compostada e compostada. O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial $5 \times 2 + 2$; sendo cinco doses de lodo de esgoto (0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹), dois ecogessos (calcítico e dolomítico) aplicados com base no teor de argila e pH do solo, dois tratamentos adicionais (adubação convencional com ecogesso calcítico e com ecogesso dolomítico). Foram avaliadas as características fitotécnicas: altura das plantas, diâmetro do colo, peso seco das sementes, peso seco da parte aérea e teor de óleo nas sementes. Observou-se que as adubações com lodo produziram resultados significativos no desenvolvimento das plantas de Crambe, com tendências a queda na maior dose utilizada (20 t ha⁻¹). O melhor desempenho das plantas ocorreu com a dose de 13 t ha⁻¹ de lodo de esgoto associado a aplicação de Ecogessos, para o cultivo de *Crambe abyssinica*.

Palavras-chave: Oleaginosa, Biocombustíveis, Sustentabilidade, Resíduos Ambientais

CHAPTER II. AGRONOMIC PERFORMANCE OF CRAMBE (*Crambe abyssinica*) IN THE FUNCTION OF FERTILIZATION WITH SEWAGE SLUDGE AND ECOGYPSUMS

ABSTRACT

The demand for biofuels in the world is growing and some crops have presented great potential for producing raw material for biodiesel production. The objective of this study was to evaluate the feasibility of the use of sewage sludge associated with ecogypsum for crambe cultivation. The experiment was conducted in a greenhouse and the sludge was applied in the non-composted and composted form. The statistical design was completely randomized in a factorial scheme $5 \times 2 + 2$: five doses of sewage sludge (0 t ha^{-1} , 5 t ha^{-1} , 10 t ha^{-1} , 15 t ha^{-1} , 20 t ha^{-1}), two ecogypsum (calcitic and dolomitic) based on the content of soil clay and its pH and two additional treatments (conventional fertilization with calcitic ecogypsum and with dolomite ecogypsum). Phytotechnical characteristics were evaluated: plant height, collar diameter, seed dry weight, aerial parts dry weight, and seed oil content. It was observed that fertilization with sludge produced significant results in the development of Crambe plants. The best performance of the plants occurred with the dose of 13 t ha^{-1} of sewage sludge associated with application of ecogypsum for the cultivation of *Crambe abyssinica*.

Key Words: Biofuels, Biofertilizer, Environmental, Residues, Sustainability

1. INTRODUÇÃO

A matriz atual do consumo global de energia ainda é essencialmente suprida pelo petróleo, gás e carvão, entretanto, já se verifica aumento significativo da produção de biodiesel e etanol (BORUGADDA; GOUD, 2012)

A necessidade de fontes de energias pouco poluentes, de baixa emissão de carbono, tem incentivado a procura por matérias primas vegetais para a produção de biocombustíveis (BARBOSA *et al.*, 2008). Portanto, o *Crambe abyssinica* surge como opção por ser rico em triglicerídeos e apresentar similaridade em relação à soja e outras espécies na produção de óleos vegetais (VAZQUEZ *et al.*, 2014).

Nativo da Etiópia e introduzido no Brasil nos anos 90, o crambe foi utilizado por muitos anos como forrageira e produtor de fitomassa para cobertura de solos em áreas de plantio direto (FALASCA *et al.*, 2010). Atualmente os agricultores brasileiros têm demonstrado interesse em cultivar a espécie devido ao seu potencial para produção de biodiesel, seus baixos custos de manejo, o ciclo curto, a resistência a pragas, possibilidade de colheita mecanizada e utilização como cultura de inverno em entressafras (LAGHETTI *et al.*, 1995).

O emprego de resíduos, como o lodo de esgoto e ecogessos, na agricultura, destaca-se por reduzir o uso de fertilizantes minerais, viabilizar a reciclagem de nutrientes, promover melhorias físicas e químicas no solo e por apresentar uma solução para a disposição de nutrientes minerais descartados (MODESTO *et al.*, 2009). Os ecogessos são assim chamados por serem produzidos com H_2SO_4 residual de baterias automotivas, com potencial para utilização na agricultura.

Os ecogessos calcítico e dolomítico atuam como condicionadores do solo, elevam o pH, fornecem sulfato e cálcio para as plantas, reduzem a acidez potencial e a saturação de alumínio. Além de melhorar as condições químicas em profundidade, os gessos também são fonte de enxofre para as plantas, aspecto importante, uma vez que a deficiência desse nutriente é generalizada nos solos dos Cerrados (SORATTO *et al.*, 2010; NEIS *et al.*, 2010).

Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar a viabilidade da utilização do lodo de esgoto associado a ecogessos, para cultivo do crambe no norte de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no período de fevereiro a maio de 2017, em casa de vegetação no Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da UFMG, localizado em Montes Claros – MG (latitude 16° 51' 38" S e longitude 44° 55' 00" W, altitude de 650 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw (tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso).

Foram realizados dois experimentos, utilizando lodo de esgoto na forma natural (não compostada) e na forma compostada (submetido técnicas para estimular a decomposição de materiais orgânicos por microrganismos com a finalidade de obter um material estável, rico em substâncias húmicas), dispostos em delineamento estatístico inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2+2; sendo cinco doses de lodo de esgoto compostado e não compostado, dois ecogessos (calcítico e dolomítico) e dois tratamentos adicionais (adubação convencional com ecogesso calcítico e adubação convencional com ecogesso dolomítico). Ambos os experimentos foram compostos por quatro repetições por tratamento, totalizando 48 parcelas. A unidade experimental foi formada por duas plantas por vaso.

Em relação às sementes de crambe, utilizou-se a variedade FMS Brilhante. Estas foram adquiridas junto à Fundação Mato Grosso do Sul, resultantes do melhoramento genético realizado na Fundação (PITOL *et al.*, 2010).

O lodo de esgoto utilizado no experimento foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG), no município de Montes Claros – MG. O solo utilizado para preparo do substrato foi coletado na zona rural de Montes Claros e classificado como Neossolo quartzarênico (EMBRAPA, 2013).

A compostagem foi realizada com restos de poda (predominantemente grama Batatais, grama Esmeralda, e folhas de árvores leguminosas) e lodo de esgoto na proporção 3:1 (v/v) respectivamente. Durante 90 dias esse material foi umidificado diariamente, sendo homogeneizado uma vez por semana.

O ecogesso calcítico foi produzido pela Antares Reciclagem através da reação química do ácido sulfúrico hidrolisado com o carbonato de cálcio residual do processo de produção de fábrica de celulose. O ácido sulfúrico foi obtido do desmonte de baterias automotivas usadas e filtrado em filtro de celulose para retirada do chumbo. O ecogesso dolomítico também foi produzido pela Antares por meio de reação química do ácido sulfúrico residual de baterias, com o calcário dolomítico.

O substrato foi preparado em vasos de três litros, 60 dias antes da semeadura. A estes foram adicionados os lodos não compostado (LNC) e compostado (LC) nas dosagens de 0; 7,5; 15; 22,5 e 30,0 g.vaso⁻¹, equivalentes a 0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹. Nesta mesma etapa foi realizada a calagem pelo método de saturação por bases (V%). Os vasos receberam 0,9 g de ecogesso (600 kg.ha⁻¹) calcítico e dolomítico. O cálculo da gessagem foi formulado em função do teor de argila do solo. O tratamento adicional recebeu 0,45 g.vaso⁻¹ (300 kg ha⁻¹) de NPK (4-14-8) de acordo com Soratto *et al.* (2013). O solo foi mantido sempre próximo à capacidade de campo, sendo utilizada água destilada para irrigação.

As análises químicas e físicas do solo utilizado foram realizadas de acordo com metodologias preconizadas por Embrapa (2013). As análises químicas do lodo e ecogessos seguiram os padrões determinados pela EPA (1993).

Na Tabela 1 verificamos as características químicas e físicas dos lodos utilizados neste experimento. Na Tabela 2 estão dispostos os teores de metais tóxicos presentes no lodo de esgoto. De acordo com a resolução 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), esse material está apto para uso em ambientes agrícolas. A Tabela 3 dispõe sobre as características químicas e físicas do solo de Cerrado utilizado como substrato, e a Tabela 4 trás as características químicas dos ecogessos, utilizados como condicionadores do solo neste experimento.

A altura das plantas (ALT), foi avaliada semanalmente durante 71 dias (ciclo observado neste experimento). As medidas foram realizadas com régua, a partir da superfície do solo até a folha mais nova expandida no meristema apical. Após este período as plantas foram coletadas e avaliou-se as características agrônômicas: diâmetro do coleto (DIA), peso seco das sementes (PS), peso seco da parte aérea (PA) e o teor de óleo nas sementes (TO).

Tabela 1. Características químicas do lodo de esgoto não compostado e do lodo compostado utilizados como fertilizantes no cultivo de *Crambe abyssinica*

	Ph	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	MO	CO	C/N
CaCl ₂	%												
LNC	6,05	2,43	1,8	<1	2,32	<0,5	4,1	<0,1	1,77	<0,05	18,3	<1,8	0,69
LC	6,15	2,43	2,1	<1	2,44	<0,5	2,4	<0,1	2,45	<0,05	10,2	17	6,87

Notas: LNC= lodo de esgoto não compostado; LC= lodo de esgoto compostado. MO = matéria orgânica; CO= carbono oxidável; C/N= relação carbono nitrogênio

O diâmetro do caule das plantas foi medido com paquímetro digital ZAAS, com precisão de 0,01mm, ao final do ciclo experimental no início do estágio de colheita. Após as plantas entrarem em senescência, foi aferido, em balança de precisão, o peso das sementes e da parte aérea do crambe.

A extração de óleo nos grãos de crambe foi realizada utilizando o método químico de extração por solvente (no Soxhlet) segundo AOAC (1997); enquanto o teor de óleo foi obtido a partir do peso do óleo e peso seco das sementes.

Na análise de variância considerou-se o esquema fatorial 2x5+2. Para comparar os ecogessos calcítico e dolomítico na dose testada utilizou-se o teste F ($p \leq 0.05$). Já para comparar as testemunhas com o uso dos ecogessos em solos adubados com NPK recorreu-se ao teste Dunnet ($p \leq 0.05$). Para estudar a influência das doses de lodo de esgoto associado a cada tipo de ecogesso utilizou-se à análise de regressão. Foram ajustados modelos de regressão linear e quadrática (R CORE TEAM 2018). O melhor modelo ajustado para cada caso foi selecionado considerando a significância dos parâmetros.

Tabela 2. Limites da concentração máxima de metais tóxicos presentes no lodo ou derivados para aplicação no solo, e teores de metais tóxicos determinados nas amostras de lodo de esgoto não compostado e compostado.

Metal	Ba	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Cr	Hg	Ni	Mo	Se
	mg kg ⁻¹										
CONAMA, 2006	1300	1500	2800	41	39	300	1000	17	420	50	100
LNC	118,3	<0,05%	0,09%	1,12	<0,02	<0,02	40,2	0,6	28,8	<0,01	<0,2
LC	161,8	<0,05%	0,09%	<0,02	<0,02	<0,02	4,2	0,5	22,2	<0,01	<0,2

Nota: Rec. = recomendação; LNC= lodo de esgoto não compostado; LC= lodo de esgoto compostado.

Tabela 3. Características químicas e físicas do Neossolo do Cerrado utilizado como substrato para cultivo de *Crambe abyssinica*.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	MO	Ar Gr	Ar F	Arg	Sil	Tex
(em H ₂ O)	_ g dm ⁻³ _		__ cmolc dm ⁻³ __			_____ dag kg ⁻¹ _____					
5,3	0,08	10	0,4	0,16	0,5	2,9	34,5	43,5	12	10	Ar

Notas: MO = matéria orgânica; Ar Gr = areia grossa; Ar F = areia fina; Arg = argila; Sil = silte; Tex = textura; Ar = textura arenosa.

Tabela 4. Características químicas dos ecogessos utilizados no substrato para cultivo de *Crambe abyssinica*.

Ecogesso	MgO	CaO	Ca	S	Cd	Hg	Ar	Cr	Se	Ni	Pb
	%										
Calcítico	-	35,21	25,16	13,39	< 5,00	< 0,10	< 10,00	15,93	< 10,00	< 10,00	14,44
Dolomítico	8,54	30,58	-	12,33	2,07	< 0,10	< 20,00	15,47	< 10,00	11,31	22,22

Para a altura das plantas, a qual foi mensurada em diferentes estágios de desenvolvimento, foram ajustados modelos de regressão múltipla. Foram testados 12 modelos de regressão:

- 1- $Z_i = a + bx_i + cy_i + e_i$;
- 2- $2-Z_i = a + bx_i + cx_i^2 + dy_i + e_i$;
- 3- $3-Z_i = a + bx_i + cy_i + dy_i^2 + e_i$;
- 4- $4-Z_i = a + bx_i + cx_i^2 + dy_i + fy_i^2 + e_i$;
- 5- $5-Z_i = a + bx_i + cy_i + dx_iy_i + e_i$;
- 6- $6-Z_i = a + bx_i + cx_i^2 + dy_i + fx_iy_i + e_i$;
- 7- $7-Z_i = a + bx_i + cy_i + dy_i^2 + fx_iy_i + e_i$;
- 8- $8-Z_i = a + bx_i + cx_i^2 + dy_i + fy_i^2 + gx_iy_i + e_i$;
- 9- $9-Z_i = a + bx_i + cx_i^2 + dy_i + fy_i^2 + gx_iy_i + hx_i^2y_i + e_i$;
- 10- $10-Z_i = a + bx_i + cx_i^2 + dy_i + fy_i^2 + gx_iy_i + hx_iy_i^2 + e_i$;
- 11- $11-Z_i = a + bx_i + cx_i^2 + dy_i + fy_i^2 + gx_iy_i + hx_i^2y_i + jx_iy_i^2 + e_i$;
- 12- $12-Z_i = a + bx_i + cx_i^2 + dy_i + fy_i^2 + gx_iy_i + hx_i^2y_i + jx_iy_i^2 + ki^2y_i^2 + e_i$.

Onde Z_i refere-se à altura da planta da i -ésima amostra, x_i a i -ésima dose de lodo e y_i o i -ésima dia após o plantio. O melhor modelo foi selecionado baseando-se na menor estimativo do Critério de informatividade de Akaike (AIC). A partir dos modelos ajustados foram obtidos os valores preditos, os quais foram utilizados para a confecção de gráficos de superfície resposta.

3. RESULTADOS

A presença do lodo de esgoto no solo exerceu influência significativa ($p \leq 0,05$) na altura do crambe em todas as épocas avaliadas (Figura 1). O aumento das doses de lodo não compostado (LNC) e compostado (LC) promoveu o aumento linear do crescimento do *Crambe abyssinica* até a dose média de 13 t ha^{-1} com redução da taxa de crescimento das plantas com aplicação de 20 t ha^{-1} . Percebeu-se a tendência de queda menos acentuada na altura, após dose ótima, nos tratamentos que receberam lodo compostado como fertilizante.

Ao final do trabalho foram observadas plantas com altura média máxima de 95 centímetros (substratos com lodo de esgoto compostado) e de 84 centímetros (substratos com lodo de esgoto não compostado). De modo geral as médias de altura das plantas que receberam LNC e LC foram inferiores as médias dos tratamentos químicos (Test 1 e Test 2), exceto próximo a dose média de 13 t ha^{-1} (Tabela 5).

Os resultados apontaram que o aumento dos níveis de LNC e LC, nos substratos contendo ecogesso calcítico ou ecogesso dolomítico, favoreceram o incremento do diâmetro do colo, do peso seco das sementes (g) e do peso seco da parte aérea (g) do crambe. Foram ajustadas curvas de regressão polinomial para as variáveis acima citadas, observou-se valores médios ótimos próximos a dose de 13 t ha^{-1} (Figura 2).

Em relação ao diâmetro, peso seco das sementes e ao peso seco da parte aérea do crambe, todos os tratamentos formulados com adubação convencional (Test 1 e Test 2) foram estatisticamente semelhantes aos tratamentos que receberam doses iguais ou superior a 5 t ha^{-1} de lodo LNC e LC (Tabela 5).

Para o teor de óleo do crambe também foram ajustadas curvas para as variáveis e novamente, a dose ótima estabelecida neste ensaio foi próximo a 13 t ha^{-1} para o lodo não compostado (LNC) (Figura 2G) e compostado (LC) (Figura 2H). A produção máxima de óleo pelas sementes atingiu valores próximos a 25% com a utilização dos lodos de esgoto compostado e não compostado, nas doses variando entre 10 e 15 t ha^{-1} .

De acordo com os resultados dos teores médios de óleo nos grãos, observou-se que as médias dos tratamentos formulados com LC e LNC foram iguais ou superiores aos tratamentos testemunha. Assim, as combinações: 5 e 10 t ha^{-1} de LC acrescidos dos ecogessos calcítico e dolomítico e 20 t ha^{-1} LNC mais ecogesso dolomítico foram as que culminaram em maior produção de óleo (Tabela 5).

Verificou-se comportamento linear do diâmetro do colo apenas nos substratos que

receberam a combinação de lodo não compostado e ecogesso dolomítico (Figura 2A).

O ciclo do crambe estendeu-se, do plantio até a colheita um total de 71 dias. A emergência ocorreu no período entre 7 a 10 dias. A floração iniciou-se entre o 36º e 40º dias do ciclo. Os frutos começam a granar entre os 48 a 57 dias após a semeadura.

Figura 1. Superfície de resposta da altura do crambe (*Crambe abyssinica*) em função das doses (0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹) de lodo não compostado (LNC), lodo compostado (LC) e ecogessos calcítico (G1) e dolomítico (G2) aplicados no substrato e dos dias após semeadura (DAP).

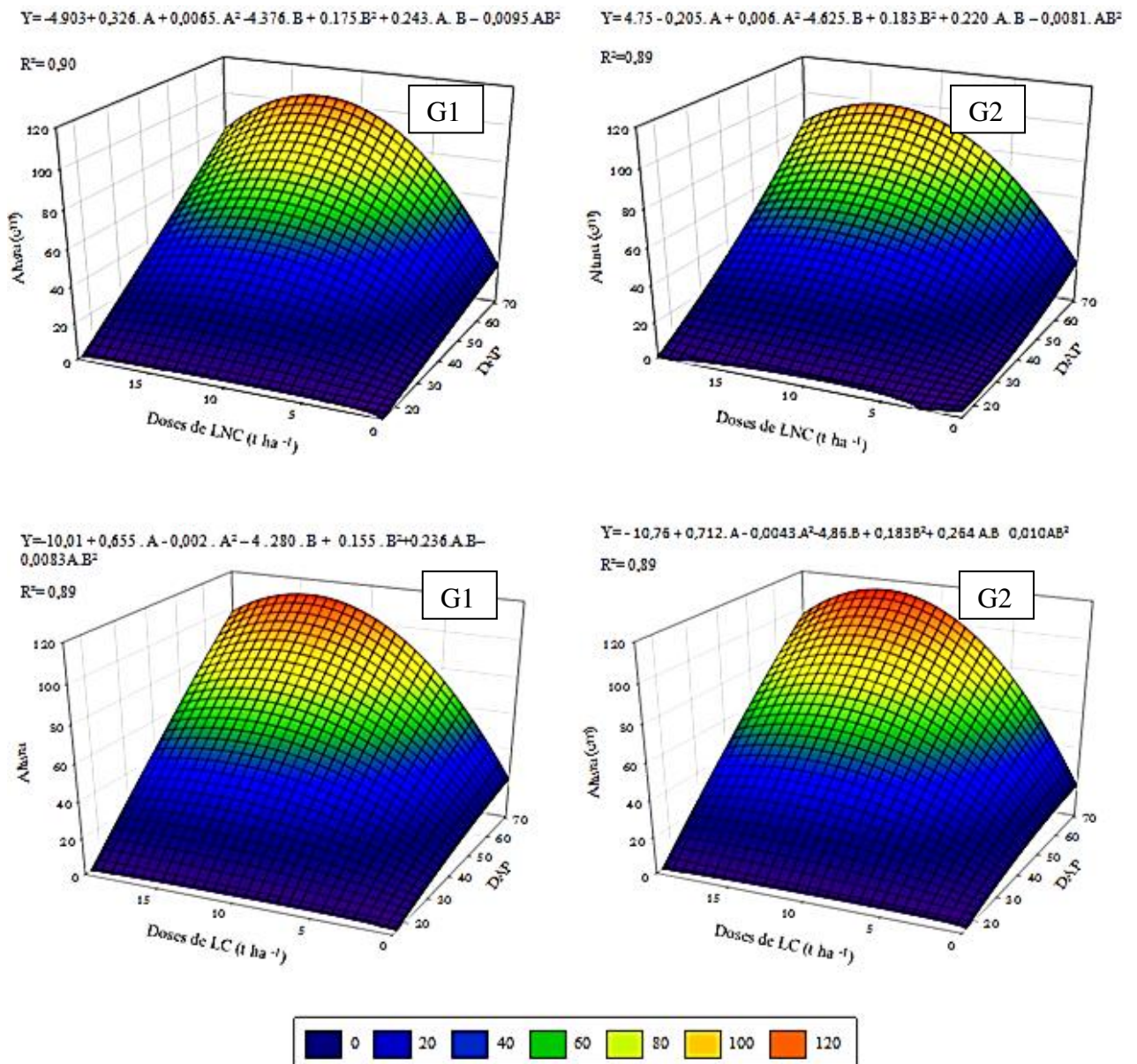


Figura 2. Diâmetro (cm) (A, B), Peso seco das sementes (g) (C, D), Peso seco da parte aérea (g) (E, F) e porcentagem de óleo das sementes (G, H) de crambe (*Crambe abyssinica*) em função das doses (variando de 0 a 20 t ha⁻¹) de lodo não compostado (LNC), lodo compostado (LC) e dos ecogessos calcítico (Gesso 1) e dolomítico (Gesso 2) aplicados no substrato.

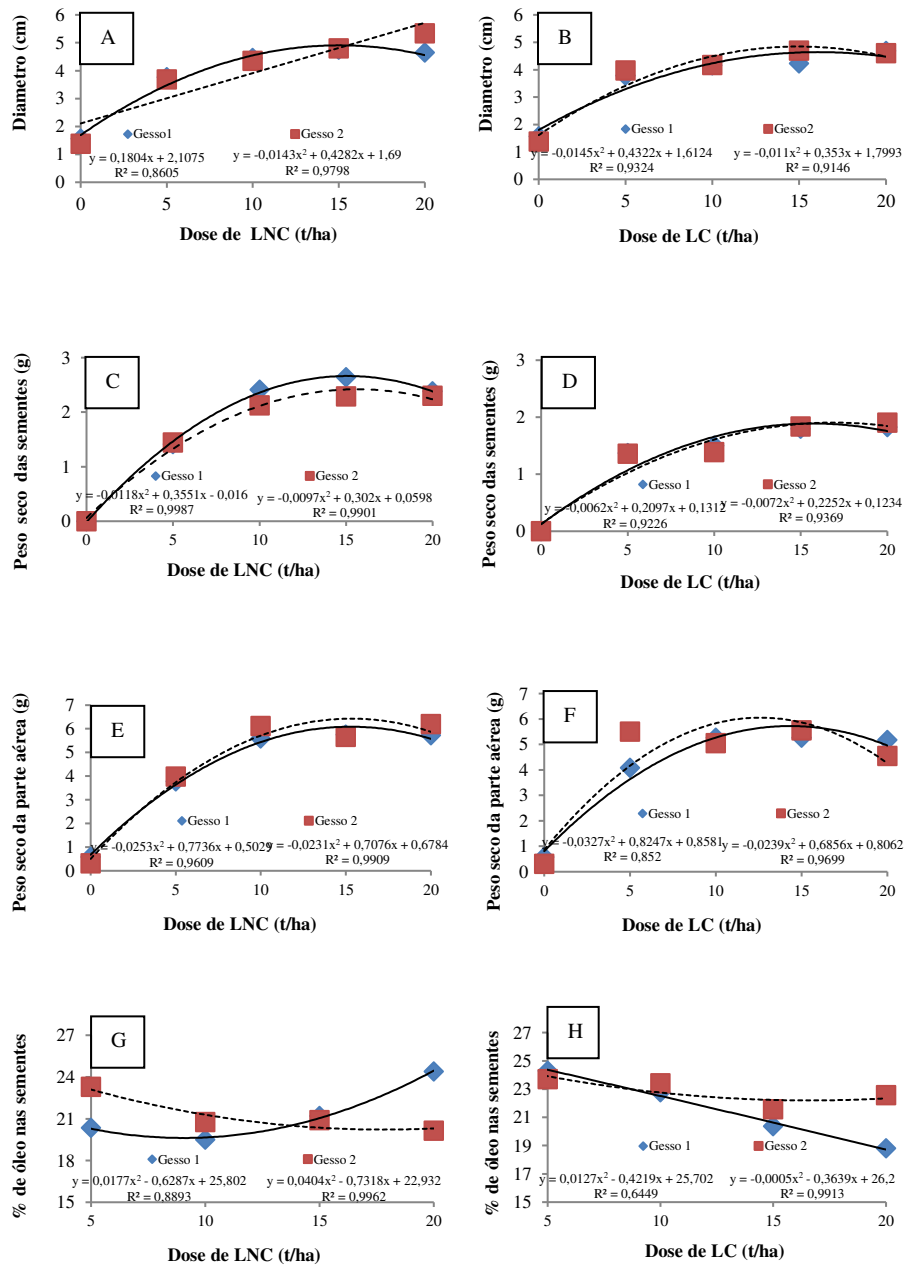


Tabela 5. Teste de comparação de médias entre tratamentos, para as variáveis altura (ALT), diâmetro do colo (DIAM), peso seco das sementes (PESO-SEM), peso seco da parte aérea (PESO-PA), e porcentagem de óleo nas sementes (PO) de acordo com a dose de lodo de esgoto não compostado (LNC) e compostado (LC) e dos ecogessos calcítico (Gesso 1) e dolomítico (Gesso 2) aplicados no substrato.

Gessagem	Dose de lodo de esgoto não compostado (t ha ⁻¹)					Dose de lodo de esgoto compostado (t ha ⁻¹)				
	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
Altura (cm)										
Gesso 1	18,87a*	73,25a*	83,87a	78,25a*	57b*	18,87a*	87,37a	83,87a*	91a	88 ^a
Gesso 2	12 a+	78,25a	74,75a+	78 a	76a+	12a+	86,62a	85,25a	95,87a	89 ^a
		Test 1 (96,00*)					Test 1 (96,00*)			
		Test 2 (93,87+)					Test 2 (93,87+)			
Diâmetro do colo (mm)										
Gesso 1	1,56 a*	3,76a	4,45a	4,75a	4,65 a	1,56a*	3,78a*	4,16a	4,22a	4,68a
Gesso 2	1,38 a+	3,67a	4,35a	4,80a	5,34 a	1,38a+	3,97a+	4,17a	4,70a	4,60 ^a
		Test 1 (4,58*)					Test 1 (4,58*)			
		Test 2 (4,69+)					Test 2 (4,68+)			
Peso seco das sementes (g)										
Gesso 1	0a*	1,41 ^a	2,41 a	2,45 a	2,38 ^a	0a*	1,37a	1,50a	1,80a	1,83a
Gesso 2	0a+	1,45 ^a	2,12 a	2,29a	2,30 ^a	0a+	1,36a	1,39a	1,84a	1,90a
		Test 1 (1,61*)					Test 1 (1,61*)			
		Test 2 (1,68+)					Test 2 (1,67+)			
Peso seco da parte aérea (g)										
Gesso 1	0,58a*	3,78 ^a	5,58a	5,75a	5,52a	0,58a*	4,08b	5,26 ^a	5,27a	5,17 ^a
Gesso 2	0,61a+	3,98 ^a	6,11a	6,65a	6,20a	0,31a+	5,50a	5,05 ^a	5,55a	4,54 ^a
		Test 1 (4,75*)					Test 1 (4,75*)			
		Test 2 (4,90+)					Test 2 (4,90+)			
Percentual de óleo										
Gesso 1	-	20,33b	19,50a	21,20 ^a	24,40a*	-	24,28a*	22,77a*	20,36a	18,81b
Gesso 2	-	23,28a+	20,75b	20,89 ^a	20,13b	-	23,70a+	23,41a+	21,57a	22,56a+
		Test 1 (19,04*)					Test 1 (19,04*)			
		Test 2 (19,45+)					Test 2 (19,45+)			

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não se diferem pelo teste Fa nível de 5% de significância. Médias seguidas de asterisco e do sinal de mais se diferem estatisticamente da testemunha 1 e 2, respectivamente, pelo teste Dunnet ao nível de 5% de significância.

4. DISCUSSÕES

O crambe desenvolveu-se com êxito nos tratamentos adubados com lodo não compostado e lodo compostado com resultados similares àqueles apresentados pelos tratamentos adubados com fertilizante NPK. A limitação do crescimento da espécie nos substratos que receberam dose 0 t ha⁻¹ de lodo comprovou o potencial do subproduto de melhorar as propriedades químicas do solo, fornecendo matéria orgânica e nutrientes para as plantas.

Pesquisas recentes também apontam o potencial do lodo como biofertilizante, sendo que o resíduo pode proporcionar outros efeitos benéficos ao solo, que a adubação química não forneceria (QUINTANA *et al.*, 2011) e melhora da agregação (LIU, 2016). O lodo foi utilizado como fertilizante e superou o tratamento químico no cultivo de outras oleaginosas como: mamona (CHIARADIA *et al.*, 2009), girassol (LOBO *et al.*, 2013), e pinhão manso (CAMARGO *et al.*, 2010). Em todos esses trabalhos os autores descreveram que a produtividade apresentou crescimento linear à medida que se aumentou a dose de lodo de esgoto, houve ainda incremento na produção de matéria seca e produtividade dos grãos.

De maneira geral, não se observou mudanças significativas, para as variáveis analisadas, entre os dois tipos de lodo e de gesso utilizados. Contudo, percebeu-se que os substratos à base de LC apresentaram plantas com maiores médias de altura (96 cm). A transformação da matéria orgânica por meio da compostagem, o aumento do carbono orgânico oxidável (carbono lábil e facilmente disponível para plantas) (BLAIR *et al.*, 1995) e da relação C/N (mineralização do N), pode explicar esse comportamento. Além disso, a maior disponibilidade, no solo, de compostos orgânicos pode aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) (BAYER; BERTOL, 1999), diminuir os efeitos negativos do alumínio tóxico (CIOTTA *et al.*, 2002). Viana *et al.* (2012) verificaram que o crescimento do *Crambe abyssinica* foi influenciado pela variação de doses de NPK resultando na altura média de 109,54 cm. Segundo Pitol *et al.* (2010), ao cultivar FMS Brilhante nos campos de produção de sementes atinge altura média de 80 cm. Jasper *et al.* (2010) utilizando dose de 200 kg ha⁻¹ (NPK 08-28-16), em Botucatu – SP, atingiu altura máxima de 95 cm.

Percebeu-se que o ciclo do crambe no presente trabalho (71 dias) foi menor em relação aos relatados na literatura (médias entre 90 e 100 dias) (Pitol *et al.* 2010), apresentando período de floração curto e granação e secagem precoces. Provavelmente a temperatura influenciou este resultado tendo em vista que no período de cultivo da oleaginosa (fevereiro a

abril de 2017) foram constatadas temperaturas máximas diárias acima de 30 °C. Pilau *et al.* (2011) em experimento realizado em 2009 e 2010 verificaram diferentes ciclos, variando de 77 a 136 dias. Segundo os autores, a temperatura do ar foi responsável pela variação do ciclo de desenvolvimento do crambe, onde há o aumento (em temperaturas superiores a 30 °C) ou diminuição (em temperaturas abaixo de 20°C) nos processos metabólicos internos da planta.

O teor médio de óleo das sementes foi de 21% para o lodo não compostado e 22% para o lodo compostado (Tabela 5), valor esse inferior aos relatados por Pitol (2008) que mencionou uma variação de 26 a 38%. O encurtamento do ciclo que dura em média 90 dias segundo a Fundação MS (2015), e consequente diminuição do período de granação do crambe, pode justificar a diferença entre o teor de óleo encontrado no presente experimento e os descritos na literatura (BRITO, 2013; SILVA *et al.*, 2011). Sabe-se que o teor de óleo pode variar, de acordo com as condições de clima, solo e fertilização (SILVA *et al.*, 2011). Freitas (2010), trabalhando com doses de N em cobertura, encontrou diferença estatística em duas safras, apresentando redução no teor de óleo ao aumentar as doses de N. Para doses de P₂O₅ e K₂O na semeadura também houve diferença estatística, no entanto, o aumento das doses proporcionou acréscimo no teor de óleo.

Tendo em vista que a parcela experimental foi formada por duas plantas os valores médios, por planta, de peso seco da parte aérea e peso seco das sementes de crambe (Tabela 5), foram inferiores aos valores descritos por Silva *et al.* (2011) e Alves *et al.* (2016). Estes autores, utilizando doses crescentes de fertilizantes químicos, encontraram entre, 5,8 e 7,4 g de massa seca da parte aérea e 2,0 e 4,5 g de peso seco das sementes respectivamente. A temperatura, ao afetar a duração das fases fenológicas do crambe, pode ter alterado o tempo de captação de energia luminosa, afetando a produção e a distribuição de biomassa. A matéria seca de grãos, e o acúmulo de biomassa, em muitas espécies estão associados com o número de dias até a maturidade, indicando que variedades com maior potencial de rendimento seriam aquelas que possuem um maior período de tempo disponível para o enchimento de grãos.

O endurecimento nas legislações ambientais incentivou as empresas para irem além do descarte correto e buscarem alternativas de reutilização de subprodutos. Assim surgiu a idéia de transformar o resíduo do tipo chumbo-ácido das baterias automotivas em ecogesso agrícola. De acordo com as análises químicas, o teor de metais tóxicos dos ecogessos (Tabela 4) estão dentro do permitido pelo CONAMA para utilização na agricultura. Se tratando do cultivo de crambe é possível afirmar que o emprego de ecogesso calcítico ou ecogesso

dolomítico nos substratos não interferiu negativamente no desenvolvimento das plantas, tornando-se uma opção de reuso e promovendo o ecogesso de resíduo para coproduto.

5. CONCLUSÕES

A utilização do lodo compostado, não compostado e ecogessos calcítico e dolomítico são alternativas viáveis de adubação para o crambe e favorecem o crescimento e desenvolvimento da oleaginosa.

As adubações com lodo produziram resultados significativos se comparados com a adubação convencional.

A dose de 13 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, com aplicação de ecogesso baseado no teor de argila do solo e pH próximo à neutralidade, para o cultivo de *Crambe abyssinica* em solo de Cerrado foi a que promoveu melhor desempenho.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. M. et al. Crambe dry matter and yield under doses of phosphorus and base saturation in the Cerrado of Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 421-426, 2016.
- AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY – AOAC, Association of Official Analytical Chemists. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 16. ed. 1141 p, 1997.
- BARBOSA, R. L. et al. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. **Ciência e agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1588-1593, 2008.
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 687-694, 1999.
- BORUGADDA, V. B.; GOUD, V. V. Biodiesel production from renewable feed stocks: Status and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, p. 4763-4784, 2012.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n. 375 de 29 de agosto de 2006. Define 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] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, n. 167, p. 141-146, ago. 2006.
- BRITO, D. M. C. et al. Effects of nitrates apply on plant growth, nitrogen, phosphorus and potassium accumulation, and nitrate reductase activity in crambe. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, p. 275-283, 2013.
- CAMARGO, R. et al. Biossólido como substrato na produção de mudas de pinhão-mansão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1304-1310, 2010.
- CHIARADIA, J. J. et al. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 701-709, 2010.
- CIOTTA, M. N. et al. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. 353p. Brasília, 2013.

FREITAS M. E. E. Comportamento agrônômico da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst) em função do manejo empregado. 2010. 42 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Agronomia – Produção Vegetal). Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, MS., 2010.

FALASCA, S. L. et al. *Crambe abyssinica*: Anal most unknown crop with a promissory future to produce biodiesel in Argentina. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.35, p.5808-5812, 2010.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; SILVA, P. R. A. Comparação do custo de produção do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) com outras culturas oleaginosas em sistema de plantio direto. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 4, p. 141-153, 2010.

LAGHETTI, G.; PIERGIOVANNI, A. R.; PERRINO, P. Yield and oil quality in selected lines of *Crambe abyssinica* grow in Italy. **Industrial Crops and Products**, v.4, p.203-212, 1995.

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.

LOBO, T. F. et al. Efeito do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 17, v. 5, p. 504–50, 2013.

MODESTO, P. T.; VIEIRA, I. G.; FERNANDES, G. D. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p.1489-1498, 2009.

NEIS, L. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do Sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n. 2, p. 409-416, 2010.

PILAU, F. G. et al. Temperatura basal, duração do ciclo e constante térmica para a cultura do crambe. **Agrometeorologia**, v. 70, n. 4, p. 958-964, 2011.

PITOL, C. Cultura do crambe. In: Tecnologia de produção: Milho safrinha e culturas de inverno. Maracajú: Fundação MS, p. 85-88. 2008.

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

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

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2018.

SILVA, T. R. B.; LAVAGNOLLI, R. F.; NOLLA, A. Zinc and phosphorus fertilization of crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst). **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 9, n. 1, p. 264-287, 2011.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 965-974, 2010.

SORATTO, R. P. et al. Effect of fertilization at sowing on nutrition and yield of crambe in second season. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 37, n. 3, p.658-666, 2013.

UNITED STATES PROTECTION AGENCY – US EPA. 40. Protection of Environment: part 503: standards for the use or disposal of sewage sludge. Code of Federal Regulations, 1993.

VAZQUEZ, G. H. et al. Produtividade, qualidade fisiológica e composição química de sementes de crambe em diferentes doses de fósforo. **Bioscience Journal**, v.30, n. 3, p. 707-714, 2014.

VIANA, O. H. et al. Efeitos de diferentes doses de adubação de base no desenvolvimento e produtividade de grãos e óleo na cultura do crambe. **Acta Iguazu**, v. 1, n. 1, p. 33-41, 2012.

CAPITULO 3. PROPRIEDADES QUÍMICAS E COMPOSIÇÃO DO ÓLEO DE CRAMBE CULTIVADO COM LODO DE ESGOTO ECOGESSOS: UMA ANÁLISE VISANDO A PRODUÇÃO DE BIODISEL

RESUMO

A substituição dos combustíveis fósseis por energias renováveis é uma demanda mundial ligada a crescente preocupação com mitigação dos impactos ambientais. O biodiesel surge como opção por ser renovável, biodegradável e pouco tóxico. A transesterificação dos óleos vegetais ou gordura animal com álcool é a forma mais usual de produção desse combustível. Desta forma a caracterização do óleo é de extrema importância para se obter um biodiesel de qualidade. Diante o contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o teor de óleo produzido pelo *Crambe abyssinica*, cultivado com substratos contendo resíduos ambientais, e caracteriza-lo por meio da cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa e do índice de acidez. O experimento foi composto por amostras de óleo de 12 tratamentos ligados a variações de adubação nos substratos. As amostras foram obtidas por meio da extração sólido-líquido do óleo das sementes, utilizando o Soxhlet. O teor máximo de óleo chegou a 26%, o índice de acidez está dentro das especificações para produção de biodiesel, e o perfil cromatográfico apontou predominância de ácidos graxos insaturados. Ratificou-se com este trabalho o potencial do óleo de crambe para produção de biodiesel.

PALAVRAS-CHAVE: *Crambe abyssinica*. Caracterização. Ácidos graxos. Biocombustíveis.

CHEMICAL PROPERTIES AND COMPOSITION OF CRAMBE OIL CULTIVATED WITH SEWAGE SLUDGE: AN ANALYSIS FOR BIODISEL PRODUCTION

ABSTRACT

The replacement of fossil fuels with renewable energy is a worldwide demand linked to the growing concern with mitigation of environmental impacts. Biodiesel comes as an option because it is renewable, biodegradable and non-toxic. The transesterification of vegetable oils or animal fat with alcohol is the most common form of production of this fuel. Thus the characterization of the oil is extremely important to obtain a quality biodiesel. Given the context, the objective of this work was to evaluate the oil content produced by *Crambe abyssinica*, cultivated with substrates containing environmental residues, and to characterize it through gas chromatography coupled to mass spectrometry and acidity index. The experiment consisted of oil samples from 12 treatments linked to substrate fertilization variations. Samples were obtained by solid-liquid extraction of oil from seeds using Soxhlet. The maximum oil content reached 26%, the acidity index is within the specifications for biodiesel production, and the chromatographic profile indicated predominance of unsaturated fatty acids. This work ratified the potential of crambe oil for biodiesel production.

KEYWORDS: *Crambe abyssinica*. Qualification. Fatty acids. Biofuel.

1. INTRODUÇÃO

A evolução econômica-tecnológica da humanidade está diretamente ligada à fonte de energia que lhe provém a sustentação. Estas fontes atualmente ainda são, na sua maioria, provenientes de combustíveis fósseis, tais como: petróleo, gás natural, carvão mineral, xisto, entre outros. A utilização desta forma de energia teve sua ascensão durante a revolução industrial e segundo o relatório da Organização de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) a demanda mundial de petróleo ultrapassara 100 milhões de barris diários em 2019 (FERREIRA, 2019).

A exaustão progressiva das reservas mundiais de petróleo é cada vez menos contestada. Estimativas apontam que as reservas mundiais de petróleo e gás natural durariam em torno de 50 e 67 anos, respectivamente (AIE, 2010). Dois fatores que podem dar relativa sobrevida ao combustível fóssil são a melhora das tecnologias de extração e descoberta de novas reservas.

A matriz energética mundial tem participação total de 80% de fontes de carbono fóssil, sendo 36% de petróleo, 23% de carvão e 21% de gás natural. O Brasil tem destaque entre as economias industrializadas pela elevada utilização das fontes renováveis em sua matriz energética como, etanol, óleo, energia solar e eólica. Isso tem explicação por alguns privilégios da natureza relacionados ao clima tropical e extensão territorial. A crescente demanda pelas diversificadas formas de energia tem gerado uma grande gama de estudos como este, que visa contribuir com as questões energéticas globais e ainda atender o que se denomina, atualmente, sustentabilidade (ABDALLA *et al.*, 2008; TOLMASQUIM, 2012).

A utilização de biodiesel como combustível traz benefícios ambientais, sociais e econômicos para o país, pois provém de fontes renováveis e com isso diminuem as emissões de materiais particulados, óxidos de enxofre e gases que contribuem para o efeito estufa, haja vista a preocupação global com algumas problemáticas tais como, a termodinâmica do planeta (URQUIAGA *et al.*, 2005).

A reação de produção de biodiesel mais utilizada é a transesterificação alcalina, a qual emprega um álcool (metanol ou etanol) juntamente com óleo ou gordura formando ésteres e glicerol como produtos desta reação (VÖLZ *et al.*, 2007; ALVES, 2011). O processo ao qual se emprega o metanol é, geralmente, mais utilizado, pois propicia grandes vantagens de ordem técnico operacional e econômica. No entanto, no Brasil há uma grande vantagem na utilização de etanol na produção de biodiesel, devido ao fato de que há uma grande quantidade de etanol

produzido por meio da cana-de-açúcar, o que agrega valor no quesito sustentabilidade ao biodiesel produzido por este meio (SANTOS; POLEDNA, 2008).

Diante o exposto é grande necessidade de se conhecer as propriedades físico-químicas da matéria-prima empregada no processo, neste caso o óleo de *Crambe abyssinica*, tendo em vista que estas propriedades interferem direta ou indiretamente na qualidade do biodiesel e no andamento do processo de produção do mesmo.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o rendimento, a composição química, e a acidez do óleo de crambe, cultivado em substratos a base de resíduos ambientais (lodo de esgoto e ecogessos), visando gerar dados para otimização da produção de biodiesel.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no período de fevereiro a maio de 2017, em casa de vegetação no Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da UFMG, localizado em Montes Claros – MG (latitude 16° 51' 38" S e longitude 44° 55' 00" W). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw (tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso).

Nesse experimento foram utilizadas para a semeadura, nove sementes de crambe (cultivar FMS Brilhante) por vaso. Após emergência realizou-se o desbaste restando duas plantas por recipiente.

Para o preparo dos substratos foram utilizados vasos de três litros contendo solo do cerrado submetido a calagem pelo método de formulad por bases (V%). A estes foram adicionadas doses de lodo de esgoto compostado e ecogessos. O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2+2; sendo cinco doses de lodo de esgoto (0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹), dois ecogessos (calcítico e dolomítico) e dois tratamentos adicionais (adubação convencional com ecogesso calcítico e com ecogesso dolomítico).

As análises químicas e físicas do solo utilizado foram realizadas de acordo com metodologias descritas pela EMBRAPA (2013). A Tabela 1 dispõe sobre as características químicas e físicas do solo do Cerrado também utilizado como substrato. As análises químicas do lodo e ecogessos seguiram os padrões determinados pela EPA (1993). As Tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, as características químicas e físicas do lodo de esgoto e ecogessos, utilizados para composição do substrato. Na Tabela 4 estão dispostos os teores de metais tóxicos presentes nesse subproduto. De acordo com a resolução 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), esse material está apto para uso agrícola.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo Neossolo utilizado como substrato para cultivo de *Crambe abyssinica*.

pH (em H ₂ O)	P _ g dm ⁻³ _	K _ g dm ⁻³ _	Ca _ cmolc dm ⁻³ _	Mg _ cmolc dm ⁻³ _	Al _ cmolc dm ⁻³ _	MO	Ar Gr	Ar F	Arg	Sil	Tex
							_____ dag kg ⁻¹ _____				
5,3	0,08	10	0,4	0,16	0,5	2,9	34,5	43,5	12	10	Ar

Notas: MO = matéria orgânica; Ar Gr = areia grossa; Ar F = areia fina; Arg = argila; Sil = silte; Tex = textura; Ar = textura arenosa.

Tabela 2. Características químicas dos ecogessos utilizados no substrato para cultivo de *Crambe abyssinica*.

Ecogesso	MgO	CaO	Ca	S	Cd	Hg	Ar	Cr	Se	Ni	Pb
	%				mg/kg ⁻¹						
Calcítico	-	35,21	25,16	13,39	< 5,00	< 0,10	< 10,00	15,93	< 10,00	< 10,00	14,44
Dolomítico	8,54	30,58	-	12,33	2,07	< 0,10	< 20,00	15,47	< 10,00	11,31	22,22

Tabela 3. Características químicas do lodo de esgoto não compostado e do lodo compostado utilizados como fertilizantes no cultivo de *Crambe abyssinica*

CaCl ₂	Ph	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	MO	CO	C/N
	%												
LC	6,15	2,43	2,1	<1	2,44	<0,5	2,4	<0,1	2,45	<0,05	10,2	17	6,87

Notas: LNC= lodo de esgoto não compostado; LC= lodo de esgoto compostado. MO = matéria orgânica; CO= carbono oxidável; C/N= relação carbono nitrogênio

Tabela 4. Limites da concentração máxima de metais tóxicos presentes no lodo ou derivados para aplicação no solo, e teores de metais tóxicos determinados nas amostras de lodo de esgoto não compostado e compostado.

Metal	Ba	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Cr	Hg	Ni	Mo	Se
	mg kg ⁻¹										
CONAMA, 2006	1300	1500	2800	41	39	300	1000	17	420	50	100
LC	161,8	<0,05%	0,09%	<0,02	<0,02	<0,02	4,2	0,5	22,2	<0,01	<0,2

Nota: Rec. = recomendação; LNC= lodo de esgoto não compostado; LC= lodo de esgoto compostado.

Os vasos receberam, proporcionalmente, 600 kg ha⁻¹ de gesso calcítico ou dolomítico. O cálculo da gessagem foi formulado em função do teor de argila do solo. Os tratamentos adicionais receberam 300 kg ha⁻¹ de NPK (4-14-8) de acordo com Soratto *et al.* (2013). Desta forma o experimento foi composto por 12 tratamentos que estão representados Tabela 1.

Utilizou-se quatro repetições por tratamento, totalizando 48 parcelas. A unidade experimental foi formada por duas plantas por vaso. Objetivando diminuir custos com reagentes, solventes e gás utilizados nas análises as quatro repetições por tratamento foram condensadas aleatoriamente, duas a duas, e reduzidas a duplicatas.

As sementes do crambe, secas de forma natural na planta, foram coletadas e separadas por tratamento. As duplicatas de aproximadamente 3g, foram maceradas com o

intuito de aumentar a superfície de contato da amostra com o solvente e encaminhado para extração para um aparelho de extração, tipo Soxhlet.

Tabela 5 -Tratamentos utilizados na adubação dos substratos para cultivo de *Crambe abyssinica*

Tratamento	Dose de adubo por vaso de três litros
T1	0 t ha ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ de ecogesso calcítico
T2	5 t há ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ de gesso calcítico
T3	10 t ha ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ gesso calcítico
T4	15 t ha ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ gesso calcítico
T5	20 t ha ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ gesso calcítico
T6	0 t ha ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ ecogesso dolomítico
T7	5 t ha ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ ecogesso dolomítico
T8	10 t ha ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ ecogesso dolomítico
T9	15 t ha ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ ecogesso dolomítico
T10	20 t ha ⁻¹ de lodo de esgoto e 600 kg ha ⁻¹ ecogesso dolomítico
T11	300 kg ha ⁻¹ de NPK (4-14-8) e 600 kg ha ⁻¹ ecogesso calcítico
T12	300 kg ha ⁻¹ de NPK (4-14-8) e 600 kg ha ⁻¹ ecogesso dolomítico

O óleo foi extraído pela metodologia oficial adaptada, descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Foram adicionados 100 mL de hexano e a mistura foi mantida sob aquecimento constante m banho maria, durante 4 horas a 130°C. O rendimento para o teor de óleo foi calculado, utilizando-se a média das duas extrações por tratamento, através da relação:

$$\eta = \frac{\text{mextrato}}{\text{mamostra}} \times 100$$

Onde:

η = eficiência do processo em porcentagem

mextrato = massa (g) do extrato obtido após a evaporação

mamostra = massa (g) de sólido utilizada

O índice de acidez foi determinado pela metodologia oficial, descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Em um erlenmeyer de 50 mL foi colocado 0,2 g da amostra de óleo e

adicionados 0,25 mL de solução de éter etílico e álcool etílico (2:1), agitados até a completa diluição do óleo; acrescentou-se uma gota do indicador ácido/base fenolftaleína e procedeu-se a titulação com solução de NaOH 0,01M até o surgimento da coloração rósea, estável por 30 segundos. O índice de acidez (mg NaOH g^{-1} óleo) foi calculado por meio da equação:

$$\text{Índice de acidez} = \frac{v \times f \times 5,61}{P}$$

Onde:

v = n° de mL da solução de NaOH 0,01M gasto na titulação

f = normalidade da solução de NaOH;

P = massa da amostra de óleo em g

A derivatização dos óleos fixos foi realizada em um balão de fundo redondo (50 mL) no qual foi adicionado 20,00 mg da amostra, em seguida, adicionou-se 5 mL de solução de KOH em metanol ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$, m/v) e aqueceu a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por 1 h, sob refluxo. Para a esterificação, 2 mL de solução de HCl em metanol (4:1, v/v) foram adicionados à mistura e aquecida novamente à $100 \text{ }^\circ\text{C}$, por 1 h. Procedeu-se à extração dos ésteres metílicos; em que, após o resfriamento, acrescentou-se 5,0 mL de H_2O destilada e, em seguida, os derivados obtidos foram extraídos com diclorometano (3 x 5,0 mL). Após a extração, a fase orgânica foi secada com sulfato de magnésio anidro, filtrada e concentrada. O resíduo obtido, após completa remoção do solvente foi redissolvido em 1,00 mL de diclorometano e analisado por CG- EM.

As análises cromatográficas foram realizadas em cromatógrafo a gás da Agilent Technologies (GC 7890A) equipado com detector de massas (CG-EM) e coluna capilar DB-5MS (Agilent Technologies, 30 m comprimento x 0,25 mm diâmetro interno x 0,25 μm espessura do filme). Hélio (99,9999% de pureza) foi utilizado como gás de arraste a uma taxa de $0,8 \text{ mL min}^{-1}$. Utilizando um auto-injetor (CTC combiPaL), 1 μL da amostra foi injetada no cromatógrafo a uma razão de split 1:10. O injetor split/splitless foi mantido a $240 \text{ }^\circ\text{C}$. A coluna cromatográfica inicialmente a $150 \text{ }^\circ\text{C}$, isoterma por 2 min., foi aquecida a uma taxa de $4 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ até $230 \text{ }^\circ\text{C}$ e, em seguida, até $240 \text{ }^\circ\text{C}$ a uma taxa de $10 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$. Após a separação dos compostos a temperatura foi elevada até $240 \text{ }^\circ\text{C}$ e permanecendo por 5 minutos (post run). A temperatura da interface do sistema CG-EM foi mantida a $280 \text{ }^\circ\text{C}$. O detector de massas operando com ionização por impacto de elétrons de 70 e V e varredura de massas de 30 a 600

m/z. A identificação dos componentes das amostras foi realizada por comparação dos espectros de massas do banco de dados do aparelho (NIST).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes a porcentagem de teor de óleo e ao índice de acidez encontram-se na Tabela 6.

Os resultados demonstram a limitação do crescimento da espécie nos substratos que não receberam lodo (dose 0 t ha⁻¹), as plantas não sobreviveram, este fato comprovou o potencial do subproduto de melhorar as propriedades químicas do solo, fornecendo matéria orgânica e nutrientes para as plantas.

A produção máxima de óleo pelas sementes atingiu valores próximos a 25% com a utilização de lodo de esgoto no substrato. De maneira geral as médias dos tratamentos formulados com lodo foram iguais, e/ou na sua maioria superiores estatisticamente, aos tratamentos formulados com adubação convencional (T11 e T12).

Tabela 6 - Valores médios do teor de óleo (%) e índice de acidez (mg KOH/ g amostra⁻¹) em óleo bruto de crambe obtidos em cada tratamento (composto por 12 variações de adubação nos substratos)

Propriedade	Tratamentos											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Teor de óleo (%)	-	24,28a	22,77a	20,36b	18,81b	-	23,70a	23,41a	21,57ab	22,56a	19,04b	19,45b
Índice de acidez (mg KOH/ g)	-	0,47d	0,74bc	0,49d	0,58cd	-	0,69bc	0,97a	0,80ab	0,73bc	0,56cd	0,72bc

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Em seus experimentos Pitol (2008) mencionou ter encontrado uma variação de 26 a 38% no teor de óleo de crambe. Neste trabalho o teor de óleo chegou próximo a 26%, contudo não foi observado rendimento máximo de 38% como descrito na literatura. A diferença entre os teores de óleo encontradas podem ter se dado pelo encurtamento do ciclo da oleaginosa, que dura em média 90 dias segundo pesquisas realizadas por Pitol *et al.*, 2010, e neste trabalho chegou somente até 70 dias. Este encurtamento, provavelmente favorecido pela temperatura (máximas diárias acima de 30 °C), gerou a diminuição do período de granação, reduzindo a produtividade de sementes e conseqüentemente do óleo de crambe (BRITO 2013; SILVA *et al.*, 2011).

Além das condições climáticas, o solo e a fertilização também são responsáveis pela variação no teor de óleo nas plantas (MORAIS, 2009). Desta forma, o menor rendimento de óleo observado nos tratamentos com fertilizante químico (T11 e T12) pode ser explicado pela

menor quantidade de matéria orgânica nesses substratos. A matéria orgânica desempenha um papel fundamental na manutenção das funções do solo; além de servir como fonte gradual de nutrientes para as plantas, aumenta a CTC, melhora a estrutura/estabilidade do solo e retenção de água.

O índice de acidez deve ser uma das principais análises realizadas, pois elevados índices de acidez podem interferir negativamente na transesterificação (reação de produção do biodiesel), pois favorecem a reação de saponificação, transformando os ácidos graxos em sabão e formando moléculas de água (PISARELLO; DALLA COSTA, 2010). A acidez de um óleo e do produto final é de extrema importância para se evitar problemas com relação ao processo reacional, como consumo excessivo do catalisador, ocorrência de reações paralelas, não ocorrência da reação ou deterioramento do motor.

No presente trabalho, o índice de acidez apresentou valor máximo de 0,97 mg KOH/g no tratamento 8 (Tabela 6). Os demais tratamentos não ultrapassaram 0,80 mg KOH/g que é o valor limite, indicado pela Portaria N° 255 da ANP, para garantir a qualidade do biodiesel. Segundo Dorado *et al.*, 2002 para uma reação completa na produção de biodiesel, o índice de acidez deve ser inferior a 0,80 mg KOH/g ou 3% g de ácido oleico. Silva *et al.* 2013 avaliaram a qualidade do óleo bruto de crambe extraído dos grãos submetidos a diferentes métodos de secagem e encontraram valores que variaram de 0,43 a 0,61 mg KOH/g. No entanto, Jasper *et al.*, (2013) estudando a qualidade do óleo de crambe produzido em plantio direto, encontraram um índice de acidez de 3,64 mg KOH/g.

A comparação estatística das médias do índice de acidez do crambe demonstrou diferenças entre os tratamentos, entretanto essa disparidade não sugeriu um padrão em relação ao aumento das doses de lodo no substrato e, portanto, não pode ser atribuída à adubação. Certamente essa variação está mais ligada a fatores como: a genética do vegetal, colheita, maturidade e umidade das sementes, tempo decorrido entre colheita e processamento, o solvente empregado na extração, o tamanho das partículas e o tempo e/ou temperatura de extração (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

A composição do óleo de crambe obtida por cromatografia gasosa está descrita na Tabela 7. O perfil cromatográfico do óleo de *Crabe abyssinica* mostra concordância com os dados citados na literatura (Tabela 8). Exceção ao exposto refere-se ao ácido erúico, uma vez que este ácido graxo não foi identificado nas corridas cromatográficas realizadas com a metodologia descrita neste experimento.

Neste estudo o perfil dos ácidos graxos do óleo de crambe foi muito semelhante entre os tratamentos e não acompanhou a variação da composição do substrato utilizado. Portanto, não pode se fazer uma relação entre a adubação aplicada no experimento e a disposição dos ácidos graxos observada. Muitas pesquisas apontam que essas mudanças no perfil de ácidos graxos das oleaginosas estão mais ligadas a latitude geográfica do que a outros fatores. Esse fato foi observado em algumas culturas de interesse econômico como a canola (DENG; SCARTH, 1998), o amendoim (FAYYAZ- UI- HASSAAN; AHMED, 2012), e o girassol (Onemli, 2012). Uma exceção ocorre quando se trabalha com variações drásticas e/ou omissões de nutrientes como o fósforo e enxofre, essenciais ao desenvolvimento da planta e produção de óleo (FRENANDES *et al.*, 2018).

Para Lajara *et al.* (1990) a composição dos ácidos graxos das oleaginosas está relacionada mais especificamente às condições locais de temperatura desde o momento do plantio até a maturação do fruto, desta forma as plantas de uma mesma variedade submetidas a variações de temperaturas podem produzir diferentes proporções de ácidos graxos.

Segundo Deng e Scarth (1998), quando o desenvolvimento das sementes ocorre em temperaturas altas, os óleos fixos são mais ricos em ácidos graxos saturados e monoinsaturados e pobres em poli insaturados, comparadas àquelas que se desenvolveram em temperaturas mais baixas. Este fato também foi observado no trabalho, o cambe foi cultivado em temperaturas elevadas e constatou-se a predominância de ácidos graxos monoinsaturados.

Para produção de biodiesel, os óleos com melhor qualidade e que geram menos problemas para os motores a diesel são ricos em ácidos graxos saturados e mono insaturados, os quais possuem maior estabilidade oxidativa e maior índice de cetano (KNOTHE, 2005).

Tabela 7 - Composição em percentual de ácidos graxos do óleo extraído das sementes de *Crambe abyssinica* nos tratamentos (compostos por 12 variações de adubação nos substratos).

Ácido graxo	Símbolo	TR	Composição em percentual de ácidos graxos do óleo de crambe nos tratamentos											
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Acido palmítico	C16:0	14.35	-	4,97	5,17	4,37	4,54	-	5,19	4,55	4,57	4,38	4,47	4,55
Acido linoleico/ Ácido linolelaídico	C18:2 ^{A9,12}	18.07	-	15,69	15,68	19,39	18,19	-	14,02	17,18	15,96	18,05	17,83	17.08
Ácido linolênico/ Ácido elaídico/ Ácido oléico	C18:2 ^{A9,12,15} C18:1 ^{A9}	18.23	-	62,60	64,15	61,27	61,41	-	62,01	62,46	65,67	62,81	62,64	62,37
Ácido esteárico	C18:0	18.84	-	2,74	2,28	2,26	2,16	-	3,08	2,26	2,11	2,25	2,18	2,62
Ácido cis-11- eicosenoico	C20:1 ^{A11}	22.55	-	7,66	7,54	7,34	8,64	-	8,72	8,57	5,9	7,21	7,96	9,29
Ácido eraquídico	C20:0	23.18	-	2,94	3,92	3,02	2,74	-	4,01	2,89	2,01	2,81	2,81	2,89

Nota: TR= Tempo de retenção

Tabela 8 - Composição em percentual de ácidos graxos do óleo crambe (*Crambe abyssinica*) de acordo com a literatura

Ácido graxo	Símbolo	Percentual de ácidos graxos, no óleo crambe, descrito na literatura						
		Silva et al (2009)	Bras (2011)	Gomes Jr (2010)	Melo (2010)	Singh e Singh (2010)	He e Tompsom, (2006)	Fonseca <i>et al</i> (2011)
Palmítico	C16:0	-	1,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Esteárico	C18:0	1,1	0,6	0,7	-	1,0	0,9	0,9
Oléico	C18:1	17,8	13,0	18	19,0	19,0	17,8	19,0
Linoléico	C18:2	6,1	6,5	9,4	9,0	9,0	8,1	8,8
Linolênico	C18:3	2,8	4,1	6,5	-	-	-	4,7
Araquídico	C20:0	1,7	1,0	0,8	2,0	2,0	-	0,9
Gadoléico	C20:1	6,7	-	2,0	-	1,0	3,7	3,6
Behênico	C22:0	3,7	2,4	-	-	1,0	-	2,1
Erúico	C22:1	56,7	64,5	55,9	59,0	59,0	54,2	57,2
Lignocérico	C24:0	-	0,8	-	-	1,0	-	0,8
Nervônico	C24:1	-	-	-	-	-	-	0,1
Outros		-	-	-	-	5,0	13,3	-

De acordo com a (Tabela 8) é possível perceber que o ácido graxo predominante no óleo de crambe é o ácido erúxico, compondo em média mais de 50% do perfil de ácidos graxos totais da oleaginosa. Contudo, considerando a metodologia de separação e identificação empregada neste experimento, em nem um tratamento foi identificado a presença do ácido erúxico (Tabela 7).

Para a identificação dos ácidos graxos, neste estudo, foi utilizada a cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas. Esse método identifica eletronicamente os componentes do óleo, que são separados de acordo com os diferentes pontos de ebulição e interações com a fase estacionária da coluna de separação. Cada molécula a ser identificada adere-se a coluna em um tempo diferente chamado tempo de retenção.

Barbosa *et al.* (2009), avaliando os ácidos graxos de óleos comerciais através de cromatografia gasosa e diferentes colunas e detectores observaram que o tempo de retenção do ácido erúxico variou entre 70 e 74 minutos. Barbosa *et al.* (2009), utilizando cromatógrafo a gás acoplado ao detector de ionização de massas (CG-DIC), para caracterização de sedimentos marinhos, obteve tempo de retenção para o ácido erúxico igual a 44 minutos.

O maior tempo de retenção verificado neste experimento foi o do ácido eraquídico (C20:0), e chegou a 23.18 minutos. Se tivesse sido detectado, o ácido erúxico (C22:1), certamente teria tempo de retenção superior 23 minutos. Os motivos pelos quais o ácido erúxico não foi identificado no óleo de crambe provavelmente estão relacionados a sua cadeia longa, alto ponto de ebulição e alto tempo de retenção em cromatografia gasosa, tempo este que extrapola o tempo máximo das análises realizadas.

4. CONCLUSÕES

O cultivo de crambe foi influenciado positivamente pela adubação com lodo de esgoto e ecogessos gerando produção de óleo igual ou superior as plantas fertilizadas com adubação convencional.

O índice de acidez do óleo de crambe cultivado com resíduos ambientais está de acordo com dos padrões indicados pela ANP.

O perfil cromatográfico do óleo de crambe não foi influenciado pela adubação alternativa, apresentou maior presença de ácidos graxos monoinsaturados e, com exceção ao ácido erúcido, demonstrou conformidade aos perfis descritos na literatura.

O óleo extraído do *Crambe abyssinica* adubado com até 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto ou e 600 kg ha⁻¹ ecogesso calcítico dolomítico, demonstrou características físico-químicas favoráveis a produção de biodiesel.

REFERENCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PRETRÓLEO – ANP. **Portaria ANP N° 255 de 15 de setembro de 2003**, publicada no D.O.U. em 16 de setembro de 2003.

ALVES, CARINE T. Transesterificação de Óleos e Gorduras Residuais via rotas metálica e etílica utilizando o catalisador Aluminato de Zinco, em presença ou não de CO₂ supercrítico. Dissertação (Doutorado em Engenharia Industrial). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO, J. C.; GODOI, A. R.; CARMO, A. de A.; EDUARDO, J. L. de P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p.260-258, 2008.

AIE; World Energy Outlook OECD-IEA, International Energy Agency, Paris, 2010.

BARBOSA, B. S.; NUNOMURA, S. M.; FIGLIUOLO, R. Análise de ácidos graxos insaturados por cromatografia gasosa de alta resolução. XVIII Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq/ FAPEAN/ IPNA, Manaus, 2009.

BRÁS, P. Caracterização nutricional de coprodutos da extração de óleo em grãos vegetais em dietas de ovinos (dissertação de Mestrado); Instituto de Zootecnia - IZ, Nova Odessa, SP, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n. 375 de 29 de agosto de 2006. Define 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] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, n. 167, p. 141-146, ago. 2006.

BRITO, D. M. C. Effects of nitrates apply on plant growth, nitrogen, phosphorus and potassium accumulation, and nitrate reductase activity in crambe. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, p. 275-283, 2013.

DENG, X.; SCARTH, R. Temperature effects on fatty acid composition during development of low-linolenic oilseed rape (*Brassica napus* L.). **J. Am. Oil Chem. Soc.** v.75, p.759–766, 1998.

DORADO, M. P. et al. The effect of waste vegetable oil blend with diesel fuel on engine performance. *Transactions of the ASAE*, v. 45, p. 525-529, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. 353p. Brasília, 2013.

FAYYAZ- UI- HASSAAN E AHMED, M. Oil and fatty acid composition of peanut cultivars grown in Pakistan. **Pakistan Journal of Botany**, v. 44, p. 627-630, 2012.

FERNANDES, MANLIO SILVESTRE.; SOUZA, SONIA REGINA DE.; SANTOS, LEANDRO AZEVEDO. Nutrição mineral de plantas. 2. ed. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS, 2018. 670 p.

FERREIRA, J. P. Consumo mundial de petróleo vai bater o recorde dos 100 milhões de barris diários no terceiro trimestre de 2019. O Jornal Económico, Lisboa, maio 2019. Disponível em: < <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/consumo-mundial-de-petroleo-vai-bater-o-recorde-dos-100-milhoes-de-barris-diarios-no-terceiro-trimestre-de-2019-444613>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

FONSECA, F.C.; BROTTTO, M.C.; VECHIATTO, W.W.D.; COSTA, B.J.; ADÃO, D.C.; ZAGONEL, G.F.; MOREIRA, M.A.C.; LAURINDO, J.C.; SUCHEK, E.M. Biodiesel sazonal: a problemática do controle de qualidade; VI Congresso Internacional de Bioenergia, Curitiba, PR, 2011.

GOMES JR, S. B. Avaliação técnica e econômica da aplicação de óleo vegetal de crambe como isolante elétrico em comparação com óleo de soja (trabalho de conclusão de Mestrado Profissional); Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC e Instituto de Engenharia do Paraná – IEP, Curitiba, 2010.

HE, B. B.; THOMPSON, J.C.; Characterization of Crude Glycerol from Biodiesel Production from Multiple Feedstocks, **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 22, 2, p. 261-265, 2006.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI M. A. M.; SILVA, P. R. A. Caracterização físico-química do óleo e do biodiesel de *Crambe abyssinica*. **Nucleus**, v. 10, p.183-190, 2013.

KNOTHE, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. **Fuel Processing Technology**, v. 86, p. 1059-1070, 2005.

LAJARA, J. R.; DÍAS, U.; QUINDELA, R. D. Definite influence of location and climate on fatty acid composition of sunflower seed oil. **JOACS**, v. 67, p.618-623, 1990.

Melo, M.A.M.F. Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais visando a Produção de Biodiesel (dissertação de Mestrado); Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa, PB, 2010.

MORAIS, L. A. S.; Influencia dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v. 2, p. 4050-4063, 2009.

ONEMLI, F. Impact of climate changes and correlations on oil fatty acids in sunflower. **Pakistan Journal of Agriculture and Science**, v. 49, p. 455-458, 2012.

PISARELLO, M. L.; DALLA COSTA, B. Esterification with ethanol to produce biodiesel from high acidity raw materials: Kinetic studies and analysis of secondary reactions. **Fuel Processing Technology**, v.91, n.9, p.1005-1014, 2010.

PEREIRA, R. G.; OLIVEIRA, C. D.; OLIVEIRA, J. L.; OLIVEIRA, P. C. P.; FELLOWSC, C. E.; PIAMBA, O. E. Exhaust emissions and electric energy generation in a stationary engine using blends of diesel and soybean biodiesel. **Renewable Energy**, v. 32, n. 14, p. 2453-2460, 2007.

PITOL, C. Cultura do crambe. In: Tecnologia de produção: Milho safrinha e culturas de inverno. Maracajú: **Fundação MS**, p. 85-88. 2008.

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

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G.; Química de Alimentos, 1ª ed, São Paulo: Editora Blucher, 2004. 194p.

SANTOS, G.L.; POLEDNA, S. R. C.; Gostaria de saber sobre os custos de compra do metanol e etanol, no Brasil, destinados a fabricação de biodiesel. Serviço Brasileiro de Resposta Técnica – SBRT. Disponível em: < <http://www.sbrt.ibict.br/>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

SINGH, S. P.; SINGH, D. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: a review; **Renewable and sustainable energy reviews**, v.14, p 200 – 216, 2010.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 965-974, 2010.

SILVA, M. A. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; SPEROTTO, F. C. S.; BEZERRA, P. H. S.; BRANDÃO, F. J. B. Qualidade do óleo de grãos de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) sob diferentes métodos de secagem. **Energia na Agricultura**, v.28, p.193-199, 2013.

SILVA, T. R. B.; LAVAGNOLLI, R. F.; NOLLA, A. Zinc and phosphorus fertilization of crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst). **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 9, n. 1, p. 264-287, 2011

SILVA, P.R.; MONTANHER, A.F.; ADÃO, D.C.; ZAGONEL, G.F.; ALVES, L.Z.; DAMBISKI, L.; ADAD, L.B.; VECHIATTO, W. W.D.; SUCHEK, E.M.; COSTA, B.J.; JASPER, S.P.; Caracterização físico-química de óleo e biodiesel metílico de crambe; *III Congresso da rede brasileira de tecnologia de biodiesel (RBTB)*, Brasília, DF, **2009**.

SORATTO, R. P. et al. Effect of fertilization at sowing on nutrition and yield of crambe in second season. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 37, n. 3, p.658-666, 2013.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos avançados**, v. 26, n. 74, p.247-260, 2012.

UNITED STATES PROTECTION AGENCY – US EPA. 40. Protection of Environment: part 503: standards for the use or disposal of sewage sludge. Code of Federal Regulations, 1993.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis. A questão do balanço energético. **Revista de Política Agrícola**, n. 1, p.42-46, 2005

VÖLZ, M. D. A.; POZZEBON, A. G.; OLIVEIRA, G. L.; D'OCA, M. G. M.; MORÓN-VILLARREYES, J. A. Estudo da esterificação ácida de óleos e gorduras de alta acidez para a produção de biodiesel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4, Varginha, 2007. Anais... Varginha: [S.n.], 2007. p. 524-1531.

15. CONCLUSÃO GERAL

Diante a eminência do esgotamento dos combustíveis fósseis e a demanda por fontes de energia renováveis e pouco poluentes, o crambe (*Crambe byssinica* Hochst), oleaginosa nativa da região da África e pertencente à família *Brassicaceae*, surgiu como opção para esse trabalho por ser alternativa promissora para a produção de biodiesel. A revisão de literatura sobre a espécie apontou qualidades como alta produtividade de matéria seca e óleo, e baixos custos de produção. Somado a isso, a aplicação industrial (matéria prima para tintas, lubrificantes e isolantes elétricos), possibilidade da colheita mecanizada, ciclo curto e a resistência a variação de temperatura são características que agregam valor ao cultivo da espécie.

Com este estudo, foi possível concluir que o cultivo de *Crambe abyssinica*, em substratos alternativos, pode agregar maior sustentabilidade a produção do biodiesel. A oleaginosa desenvolveu-se bem sob altas temperaturas e quando fertilizada com resíduos chegou a produzir 26% de óleo nas sementes. A dose em que as plantas apresentaram melhor desempenho foi de 13 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, com aplicação de ecogessos baseado no teor de argila do solo e pH próximo à neutralidade, para o cultivo de *Crambe abyssinica* em solo de Cerrado. As adubações com lodo produziram resultados significativos quando comparados com a adubação convencional.

O perfil cromatográfico do óleo de crambe não foi influenciado pela adubação alternativa e apresentou similaridade aos perfis descritos na literatura. Verificou-se no óleo predominância de ácidos graxos monoinsaturados. As análises físico-químicas apontaram que o índice de acidez do óleo cultivado com resíduos ambientais está dentro dos padrões indicados pela ANP. O óleo extraído do *Crambe abyssinica*, cultivado sob temperatura média de 35 °C e adubado com até 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto ou e 600 kg ha⁻¹ ecogesso calcítico ou dolomítico, apresentou características físico químicas favoráveis a produção de biodiesel.

Apesar da necessidade de novas pesquisas, principalmente de campo, este trabalho demonstrou a viabilidade do cultivo de *Crambe abyssinica* para a produção de biodiesel.

16. ANEXOS**ANEXO A- CROMATROGRAMAS RESULTANTES DAS ANÁLISES
RELALIZADAS NAS AMOSTRAS DO ÓLEO DE CRAMBE**