

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS  
UNIFAL-MG**

**MATHEUS RAMOS CAIXETA**

**Aplicação de glicerina bruta residual da produção de biodiesel em  
agroecossistemas**

**Alfenas - MG**

**2014**

**MATHEUS RAMOS CAIXETA**

**Aplicação de glicerina bruta residual da produção de biodiesel em agroecossistemas**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas.

**Orientador:** Prof. Dr. Breno Régis Santos

**Coorientador:** Prof. Dr. Saul Jorge Pinto de Carvalho

**Alfenas - MG**

**2014**

Caixeta, Matheus Ramos.

“Aplicação de glicerina bruta residual da produção de biodiesel em agroecossistemas” / Matheus Ramos Caixeta. – Alfenas, MG, 2014.  
70 f. -

Orientador: Breno Regis Santos  
Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental) -  
Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2014.  
Bibliografia.

1. Poluição do Solo. 2. Biodiesel. 3. Glicerina. 4. Gestão de resíduos. 5.  
Salinização do solo. I. Santos, Breno Regis. II. Título.

CDD 363.7



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG  
Programa de Pós-graduação – Ecologia e Tecnologia Ambiental

Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700. Alfenas - MG - CEP 37130-000  
Fone: (35) 3299-1419 (Coordenação) / (35) 3299-1392 (Secretaria)  
www.unifal-mg.edu.br/ppgecoambiental/



**MATHEUS RAMOS CAIXETA**

**“APLICAÇÃO DE GLICERINA BRUTA RESIDUAL DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM AGROECOSSISTEMAS.”**

A Banca examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. Área de Pesquisa: Tecnologia Ambiental.

Aprovado em: 25/07/2014

Prof. Dr. Breno Regis Santos

Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura:

Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato

Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura:

Prof. Dr. Aداuton Vilela de Rezende

Instituição: UNIFENAS

Assinatura:

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, em primeiro lugar por estar sempre ao meu lado me orientando e me fortalecendo.

À minha querida família, que juntos construíram o alicerce para realização deste sonho.

À Universidade Federal de Alfenas, pela oportunidade oferecida.

Ao Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, pela disponibilidade de infra-estrutura.

À meu orientador, pela enorme paciência e fundamental apoio.

À meu coorientador, por acompanhar todo meu processo de crescimento e amadurecimento ao logo destes dois anos.

À COOXUPÉ, pelo grande auxílio nas pesquisas.

À indústria ABDIESEL, pelo fornecimento dos resíduos.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para que eu chegasse até aqui.

*Se algum de vocês tem falta de sabedoria, peça-a a Deus, que a todos dá livremente, de boa vontade; e lhe será concedida.*

*(Tiago 1:5)*

## RESUMO

Na busca por matrizes energéticas que possam amenizar os impactos ambientais provocados pelo uso de combustíveis fósseis, o biodiesel se tornou uma alternativa economicamente viável e totalmente renovável. Entretanto, há alguns problemas a serem resolvidos para o biodiesel ser considerado sustentável. Dentre estes, deve-se dar especial atenção para a criação de possibilidades de utilização dos subprodutos gerados. Diante disto, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar a alternativa de disposição de glicerina bruta residual da produção de biodiesel no agroecossistema, ao ponto de observar os efeitos da aplicação de diferentes concentrações do resíduo nas características químicas e biológicas do solo, sobre o desenvolvimento do vegetal, sem provocar contaminação ambiental. Para tanto, foi desenvolvido experimento em vasos em delineamento de blocos casualizados (DBC), com sete repetições. Os tratamentos foram organizados em esquema fatorial 4 x 3, com quatro concentrações de glicerina: 0; 48,7; 146,1; 292,2 L.ha<sup>-1</sup>; e três foram os períodos de incubação, de 0, 30 e 60 dias utilizando a alfaca como bioindicadora. Para a análise da atividade microbiana, um experimento foi desenvolvido em laboratório, com delineamento inteiramente casualizado e cinco tratamentos. Amostras de 100 g de solo foram incubadas por 36 dias com as mesmas concentrações de glicerina bruta, além da ausência de solo e glicerina. Durante este período, realizaram-se 11 avaliações do volume de CO<sub>2</sub> liberado, em cada amostra. Para avaliar os efeitos da glicerina bruta sobre a germinação desenvolvimento vegetal, outro experimento foi desenvolvido em laboratório utilizando aquênios de picão preto. Foi utilizado delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições, as mesmas concentrações de glicerina e duas origens do resíduo (laboratório e usina produtora de biodiesel). A aplicação do resíduo promoveu o aumento nos teores de matéria orgânica, carbono orgânico, pH, Capacidade de Troca de Cátions, fósforo e potássio. Entretanto a aplicação do resíduo reduziu a porcentagem de saturação por bases (V%); além de promover o aumento no teor de sódio. A adição do resíduo foi prejudicial à alfaca em todas as concentrações. Para doses de até 143,83 L.ha<sup>-1</sup>, a glicerina bruta estimulou a atividade microbiana do solo, sendo indicativo positivo para estudos futuros em relação a sua aplicação em solos agrícolas. Por outro lado, as aplicações de glicerina reduziram a protrusão radicular do picão-preto, mesmo nas menores doses. A glicerina bruta possui teores de sódio que limitam sua aplicação no solo.

**Palavras-chave:** Poluição do Solo. Biodiesel. Glicerina. Gestão de Resíduos. Salinização.

## ABSTRACT

On the search for energetic sources that might reduce the environmental impacts caused by the use of fossil fuels, biodiesel has become an economically viable and totally renewable alternative. However, there are some problems that must be solved for biodiesel be considered completely renewable. Among these problems, special attention must be given for creating possibilities to use the byproducts generated. Hence, this work was developed with the objective of evaluating the alternative of disposal residual crude glycerin of biodiesel production on agroecosystem, aiming to observe the effects of different residue concentrations on chemical and biological soil characteristics, on plant development, without promoting environmental contamination. For that, an experiment was carried out in randomized blocks design, with seven replicates. Treatments were organized according to factorial scheme 4 x 3, where four were the glycerin (residue) concentrations ( $L\ ha^{-1}$ ): 0; 48.7; 146.1 and 292.2; and three were the incubation periods, considering 0, 30 and 60 days. Lettuce was used as the bioindicator species. For analyzing microbial activity, an experiment was developed in laboratory, with completely randomized design and five treatments. Soil samples of 100 g were incubated during 36 days with the same concentrations of crude glycerin, besides soil and glycerin absence. During this period, 11 evaluations were performed to measure  $CO_2$  released, in each sample. For evaluating the effects of crude glycerin on plant germination, other experiment was carried out in laboratory, using hairy beggarticks achenes. Experimental scheme was randomized blocks, with five replicates and the same previous glycerin rates, but with different origins of the residue (laboratory and biodiesel mill). Residue disposal promoted the enhancement of soil organic matter, organic carbon, pH, cationic exchange capacity, phosphorous and potassium. However, residue application reduced the percentage of base saturation (V%); although, it increased the sodium content. Residue disposal was negative to lettuce in all concentrations. For rates up to  $143.83\ L\ ha^{-1}$ , crude glycerin stimulated soil microbial activity, being a positive indication for further studies related to agricultural soils. On the other side, glycerin applications reduced hairy beggarticks root protrusion, even in the smallest rates. Crude glycerin has sodium levels that limits its application on the soil.

**Keywords:** Soil pollution. Biodiesel. Glycerin. Residue management. Salinization.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>10</b>
2.1	O Biodiesel e sua fabricação .....	10
2.2	Glicerina: propriedades e características .....	11
2.3	Resíduos gerados na produção de biodiesel e utilização na agricultura.....	13
2.4	Decomposição de resíduos adicionados ao solo.....	14
	<b>REFERÊNCIAS.</b> .....	<b>15</b>
	<b>PARTE 1</b> .....	<b>19</b>
	<b>Impactos da aplicação de glicerina bruta residual da produção de biodiesel no solo agrícola e no desenvolvimento vegetal.....</b>	<b>19</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>
	<b>PARTE 2</b> .....	<b>49</b>
	<b>ARTIGO: ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO E GERMINAÇÃO DE PICÃO PRETO APÓS APLICAÇÃO DE GLICERINA BRUTA.....</b>	<b>49</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>52</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>53</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>57</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>60</b>
<b>5</b>	<b>Referências</b> .....	<b>61</b>
	<b>CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade econômica no mundo moderno é cada vez mais condicionada ao mercado energético. O desenvolvimento econômico e social de uma nação, seguramente envolve incremento na demanda por energia. Deste modo, a procura por novas fontes energéticas é imprescindível para os agentes econômicos, sejam empresas, governo ou indivíduo (FERREIRA, 2007).

A maior parte de toda energia consumida no mundo é proveniente do petróleo, do carvão e do gás natural. Fontes estas, não renováveis, ou seja, limitadas e com previsão de esgotamento futuro (SARMA et al., 2012).

O uso dos combustíveis fósseis não é limitado somente pelo esgotamento das reservas, mas também pela diminuição da capacidade ambiental do planeta de absorver os gases procedentes de sua combustão (MOTA et al., 2009). Diante disto, os biocombustíveis destacam-se como alternativa promissora para minimizar estes problemas.

Dentre os biocombustíveis promissores, destaca-se o biodiesel, um combustível biodegradável e derivado de fontes renováveis (FANGRUI; HANNA, 1999), sendo uma alternativa para diminuição do uso de derivados do petróleo (SILVA; FREITAS, 2008).

O mercado global de energias alternativas tem se mostrado bastante propício para os países tropicais, destacando-se o Brasil, líder em soluções tecnológicas para produção e pesquisas sobre o etanol e, mais recentemente, o biodiesel (VIEIRA, 2007; FREITAS, 2009).

O Governo Federal, incentiva, desde 2004, a produção e uso de biodiesel por meio do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), focando obtenção de combustíveis alternativos e no desenvolvimento do país. Em 2008, o diesel comercializado em todo país passou a conter, obrigatoriamente, 3% de biodiesel (B3) e desde 2010, 5% (MOTA et al., 2009).

Apesar de ser comumente considerado um combustível renovável por ser oriundo de matérias-primas e insumos renováveis no seu processo de fabricação, o conceito de sustentável deve ser visto com cautela. O intento de sustentável prescinde de conceitos mais abrangentes, mesmo que renovável seja um deles. Abrange concepções econômicas, ambientais, ecológicas, sociais, técnicas, políticas e financeiras. Neste sentido, ainda há alguns problemas relacionados ao biodiesel no que tange a questão ambiental para ser considerado sustentável. Dentre as medidas, deve-se dar atenção especial à criação de possibilidades de utilização dos subprodutos gerados (MORET et al., 2009).

O potencial poluidor do segmento é inegável, devido à quantidade de resíduos gerados, cujo manejo inadequado pode vir a causar problemas ambientais, principalmente quanto à poluição de corpos d'água (BUENO et al., 2009).

No processo de transesterificação alcoólica de óleos e gorduras para a produção de ésteres de ácidos graxos (biodiesel) são geradas grandes quantidades do efluente residual, denominado glicerina. Este resíduo é gerado a uma taxa de 100 mL para cada 900 mL de biodiesel (RINALDI et al., 2007). Nesta proporção, serão produzidos aproximadamente 250 mil m<sup>3</sup> de glicerina a cada ano a partir de 2013 para cumprir a exigência que impõe a adição de 5% de biodiesel a todo diesel comercializado em território nacional (DALL'ALBA, 2009).

Mesmo com a versatilidade do uso industrial da glicerina, com possibilidades de transformação em diversos produtos, a quantidade de subproduto produzido supera em muito a capacidade de absorção do mercado nacional (LEONEL et al., 2012).

Com base neste contexto, a pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar alternativas para a utilização de glicerina bruta residual da produção de biodiesel no agroecossistema.

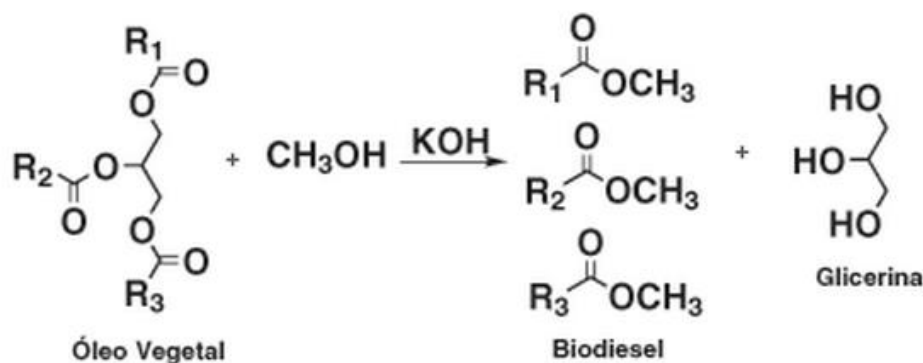
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A glicerina é um resíduo proveniente da produção de biodiesel e, devido as propriedades e características do glicerol, principal componente da glicerina, este resíduo é utilizado em diversos setores industriais e com possibilidades de utilização em agroecossistemas.

### 2.1 O Biodiesel e sua fabricação

O biodiesel é uma mistura de ésteres de ácidos graxos e álcoois de cadeia curta, como o metanol ou o etanol (SUAREZ et al., 2007). Ele é obtido por meio da utilização de óleos e gorduras animais e vegetais em um processo denominado de transesterificação. Este processo com uso de catálise é a principal rota para obter biodiesel (Figura 1) (MOTA et al., 2009).

Figura 1 – Produção de biodiesel a partir da transesterificação de óleos vegetais e metanol



Fonte: MOTA et al. (2009).

O óleo vegetal usado na produção deste combustível é um triacilglicerol (triglicerídeo), isto é, um triéster oriundo da combinação do glicerol com ácidos graxos. Por efeito da ação de um catalisador básico juntamente com o metanol ou etanol, ocorre a transesterificação do óleo formando três moléculas de ésteres metílicos ou etílicos dos ácidos graxos, que compõem o biodiesel em sua estrutura, liberando deste modo uma molécula de glicerol ou glicerina (MOTA et al., 2009).

O catalisador mais usado é o hidróxido de sódio (NaOH), tanto por razões econômicas como pela disponibilidade no mercado. Metanol é o álcool mais utilizado, por razões de natureza físico-químicas; no entanto, o etanol está sendo mais recomendado, pois é renovável e menos tóxico (LIMA, 2005).

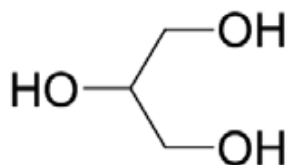
Na produção de biodiesel grandes quantidades de glicerinas são geradas. Há projeções de produção de 250 mil toneladas/ano de glicerina a partir de 2013. Estas projeções são muito superiores ao consumo e produção nacionais atuais, estimados em cerca de 30 mil ton. ano<sup>-1</sup> (DAAL'ALBA, 2009).

Os ésteres metílicos ou etílicos produzidos possuem características físico-químicas similares às do diesel convencional com a vantagem de poluírem menos, serem biodegradáveis e renováveis (COSTA NETO; ROSSI, 2000). Por outro lado, o volume extra de glicerina pode inviabilizar o comércio de biodiesel, portanto devem-se buscar aplicações de larga escala da glicerina, agregando valor à cadeia produtiva (MOTA et al., 2009).

## 2.2 Glicerina: propriedades e características

O nome glicerol deriva da palavra grega *glykys*, que significa doce. É o nome do composto orgânico 1,2,3-propanotriol (Figura 2), descoberto por Carl W. Scheele, em 1779, por meio do aquecimento de uma mistura de óxido de chumbo com azeite de oliva (PAGLIARO; ROSSI, 2008).

Figura 2 – Estrutura do glicerol



Fonte: BEATRIZ et al. (2011).

Devido à presença dos grupos hidroxila na estrutura, o glicerol é solúvel em água possuindo uma natureza higroscópica. Líquido incolor com gosto adocicado, inodoro e muito

viscoso, o glicerol é derivado de fontes naturais e petroquímicas (PAGLIARO; ROSSI, 2008). Algumas de suas características físico-químicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedade físico-químicas do glicerol – França – 2002.

<b>Propriedade</b>	<b>Valor/Expressão</b>
Forma física	Líquido
pH (solução)	Neutro
Densidade (20°C)	1,26 g cm <sup>-3</sup>
Ponto de fusão	18°C
Ponto de ebulição	290°C
Calor de evaporação 55°C	88,12 J mol <sup>-1</sup>
Calor de formação	667,8 KJ mol <sup>-1</sup>

Fonte: Organization for Economic Cooperation and Development.

Devido às suas características físico-químicas, o glicerol possui grande versatilidade de uso industrial, com possibilidades de transformação em diversos produtos. Em laboratórios, o glicerol é utilizado como agente crioprotetor de esperma, tecidos, microrganismos, enzimas e ácidos nucleicos (HUBÁLEK, 2003). Outras aplicações são os setores de cosméticos, higiene pessoal, alimentos e medicamentos (MOTA et al., 2009).

Frequentemente, o glicerol recebe o nome comercial de glicerina, pois o termo glicerol aplica-se somente à substância pura enquanto o termo glicerina é usado para nomear as misturas contendo diferentes quantidades de glicerol. No entanto, vários níveis e designações da glicerina estão disponíveis comercialmente, diferindo no seu conteúdo e algumas outras características (DALL'ALBA, 2009).

A glicerina bruta é definida como a glicerina separada do biodiesel, sem sofrer qualquer tipo de purificação. Este composto apresenta-se na forma de líquido viscoso pardo escuro, possuindo quantidades variáveis de sabão, álcool (metanol e etanol), monoacilglicerol, diacilglicerol, oligômeros de glicerol, polímeros e água. Portanto, seu aspecto está fortemente ligado ao teor de sabão e dos sais precipitados durante o processo de tratamento, que proporciona aparência de viscoso e escuro (YONG, 2001). A porcentagem de glicerol na mistura pode variar entre 40 a 90% (QUINTELLA, 2010). Este produto é comercializável, porém, o mercado valoriza mais a glicerina purificada.

Já o termo glicerina loira é normalmente empregado para designar a glicerina bruta oriunda dos processos de produção do biodiesel, onde a fase glicerinosa passou por um tratamento ácido para neutralização do catalisador e remoção de ácidos graxos (DALL'ALBA, 2009). Geralmente esta glicerina contém cerca de 80% de glicerol, além de água, metanol e sais dissolvidos (MOTA et al., 2009).

### 2.3 Resíduos gerados na produção de biodiesel e utilização na agricultura

Os resíduos gerados nas atividades industriais podem estar presentes nos estados sólidos, semi-sólidos, gasosos (quando contidos) ou líquidos. Em muitos casos, determinados líquidos não podem ser lançados nas estações de tratamento de esgoto da rede pública e nem mesmo nos corpos d'água, exigindo para isso uma solução técnica ou economicamente viável em conformidade com a melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Qualquer resíduo obtido a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais, quando processado, poderá ser registrado como fertilizante. Por outro lado, se é utilizado em sua forma original, é então registrado como condicionador do solo (ABREU et al., 2005).

No processamento de oleaginosas para produção de biodiesel, resíduos orgânicos são gerados e, caso não possuam compostos tóxicos, podem ser usados nas diversas atividades da agropecuária, como alimentação animal e adubação orgânica (BALBINOT et al., 2006). Esses resíduos podem ainda ser aplicados ao solo, utilizando-os em misturas com adubos minerais e/ou orgânicos de uso corrente na agricultura (ALTHAUS, 2012).

Segundo Lauschner (2005), os resíduos da agricultura, urbanos e industriais podem ser potencialmente capazes de reciclar nutrientes para manutenção e melhoria da fertilidade de solos agrícolas. No entanto, é preciso avaliar a composição química do resíduo, como as plantas irão responder em relação ao seu valor fertilizante, as taxas de mineralização de nutrientes e identificar os possíveis contaminantes (metais pesados, patógenos e xenobióticos) e suas interações com solo, água e as próprias plantas (PIRES et al., 2008).

A composição química dos materiais orgânicos é extremamente variável, mudando de acordo com a natureza do resíduo e também do tipo de tratamento que o efluente é submetido. Já nos resíduos industriais, o tipo de atividade que o gerou interfere na sua constituição. Deste modo, a quantidade a ser aplicada depende da sua composição, devendo ser feita uma predição do seu comportamento no solo, fundamentada em sua caracterização química (SEGATTO, 2001).

Em países desenvolvidos, as legislações são bem definidas para a disposição final de resíduos potencialmente poluentes, no entanto os critérios adotados para aplicação de resíduos orgânicos em solos agrícolas são extremamente variáveis, o que reflete as dificuldades em

estabelecer normas de aplicação, mesmo contando com abundante volume de resultados de pesquisa (RODELLA; ALCARDE, 2001).

Embora não exista uma regulamentação específica para a aplicação de glicerina no solo, em 2006, o Ministério da Agricultura publicou no Diário Oficial da União a Instrução Normativa nº 27 estabelecendo os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.

#### 2.4 Decomposição de resíduos adicionados ao solo

Dentre os possíveis destinos para a glicerina, pode-se considerar o solo. No entanto, sabe-se que a adição de resíduos orgânicos ao solo pode provocar mudanças na estrutura e no funcionamento do agroecossistema, em que a comunidade microbiana é um dos componentes mais sensíveis para utilização, sendo, portanto indicadora da qualidade dos solos (GILLER et al., 1998).

Segundo Sanderson (2013), os microrganismos são capazes de biodigerir a glicerina bruta adicionada ao solo. Além disto, o glicerol, principal componente da glicerina bruta, exerce importante função fisiológica, sendo fonte de carbono e energia, agente crioprotetor e osmoregulador para os microrganismos (ARRUDA et al., 2007).

Este componente ainda é considerado fonte de carbono altamente reduzida e assimilável por bactérias e leveduras tanto em condições aeróbicas como anaeróbicas, com a finalidade de se obter energia metabólica e reciclagem de fosfato inorgânico intracelular (DILLIS et al., 1980).

A caracterização da atividade microbiana por meio da quantificação do CO<sub>2</sub> liberado pela respiração dos microrganismos é um critério positivo para avaliar a decomposição de resíduos orgânicos adicionados ao solo (STOTZKY, 1965). Aferir a liberação de CO<sub>2</sub> do solo com resíduo orgânico em laboratório é uma metodologia segura, pois possibilita avaliações em ambiente controlado em tempo relativamente curto (CERRI et al., 1994).



## REFERÊNCIAS

ABREU JÚNIOR, C. H. et al. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos Especiais em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, p. 391-470, 2005.

ARRUDA, P. V.; RODRIGUES, R. C. L. B.; FELIPE, M. G. A. Glicerol: um subproduto com grande capacidade industrial e metabólica. **Revista Analytica**, v. 1, n. 26, p. 56-62, 2007.

ALTHAUS, D. **Rendimento das culturas e características do solo após a aplicação de resíduos da produção de biodiesel**. 2012. 136f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BALBINOT, N. S. et al. **Aproveitamento dos resíduos da produção de oleaginosas e da extração de óleo**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Este. Disponível em: <[http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/br05423\\_balbinot.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/br05423_balbinot.pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2013.

BEATRIZ, A; ARAUJO, Y. J. K.; LIMA, D. P. de. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Química Nova**, v. 34, n. 2, p. 306-319, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA No 27, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 de junho de 2006. Seção 1, p.15- 16.

BUENO, O. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; TAKITANE, I. C. Produção de biodiesel no Brasil: aspectos socioeconômicos e ambientais. **Ceres**, v. 56, n. 4, p. 507-512, 2009.

CERRI, C.C.; ANDREUX, F.; EDUARDO, B.P. Incubador para estudos sobre decomposição de material orgânico no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 1, p. 1-5, 1994.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

DALL'ALBA, K. **Uma alternativa para a glicerina oriunda da produção do biodiesel: preparo de polióis e aplicação em adesivos poliuretânicos.** 2009. 105f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

DILLIS, S.S. et al. Carbohydrate transport in bacteria. **Microbiology Reviews**, v. 44, n. 3, p. 385-418, 1980.

FANGRUI, M.A.; HANNA, M.A.; Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, v. 70, n. 1, p. 1-15, 1999.

FERREIRA, L. L. **Flexibilidade na utilização de diesel ou biodiesel, uma abordagem utilizando a teoria de opções reais.** 2007. 54f. Dissertação (Mestrado em Finanças Empresariais) – Fundação Getúlio Vargas, 2007.

FREITAS, F. C. **Uso de resíduo orgânico da produção de biodiesel direta da semente na atenuação dos efeitos de hidrocarbonetos de petróleo no solo.** 2009. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

GILLER, K.E.; WITTER, E.; MCGNATH, S.P. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agriculture soils: A review. **Soil Biology Biochemistry**, v. 30, n. 10/11, p. 1389-1414, 1998.

HUBÁLEK, Z. Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. **Cryobiology**, v. 46, n. 3, p. 205-229, 2003.

LAUSCHNER, M. **Potencial de reciclagem agrícola de resíduos da agroindústria fumageira.** 2005. 127f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

LEONEL, E. C. et al. Aproveitamento da glicerina proveniente da produção de biodiesel na obtenção de híbrido de caulinita para adsorção de  $\text{Cr}^{3+}$ . **Química Nova**, v. 35, n. 7, p.1407-1411, 2012.

LIMA, P. C. R. **Biodiesel: um novo combustível para o Brasil.** Consultoria Legislativa. Brasília, 2005. Disponível em:  
<[http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1141/biodiesel\\_combustivel\\_lima.pdf?sequence=3](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1141/biodiesel_combustivel_lima.pdf?sequence=3)>. Acesso em: 26 jan. 2013.

MORET, A. S. et al. Análise da sustentabilidade do biodiesel com uso da Análise de Custos Completos. **Espaço Energia**, v. 1, n. 11, p. 14-23, 2009.

MOTA, C. J. A.; SILVA, C. X. A.; GONÇALVES, V. L. C. Gliceroquímica: Novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 639 – 648, 2009.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. **SIDS Initial Assessment Report for 14 SIAM**. United Nations Environment Programme Publications, Paris: France, 2002. 178 p.

PAGLIARO, M.; ROSSI, M.; **The future of glycerol** - new uages for a versatile raw material. RSC Publishing: Cambridge, 2008. 127 p.

PIRES, A.M.M.; MATTIAZZO, M.E. **Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa, 2008. 9p. (Circular Técnica, 19).

QUINTELLA, C. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: Uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 793-808, 2010.

RINALDI, R. et al. Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1374-1380, 2007.

RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. Legislação sobre micronutrientes e metais pesados. In: FERREIRA, M.E. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 555-576.

SANDERSON, K. **Avaliação da eficiência da glicerina bruta, proveniente da produção de biodiesel, na obtenção de biogás em codigestão com dejetos suínos**. 2013. 61f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2013.

SEGATTO, M. P. de. **Efeitos da aplicação de resíduos industriais no solo e nas plantas**. 2001. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

SARMA S. J. et al. Microbial hydrogen production by bioconversion of crude glycerol: A review. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 8, p. 6473–6490, 2012.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p.843-851, 2008.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A., (Ed) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 1151-1572.

SUAREZ, P.A.Z. et al. Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 667-676, 2007.

VIEIRA, M. C. A. **Setor sucroalcooleiro brasileiro: evolução e perspectivas**. Rio de Janeiro: BNDES, 2007. 245 p. Disponível em:  
<[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv\\_perspectivas/07.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv_perspectivas/07.pdf)>. Acesso em: 18 out.2012.

YONG, K. C. et al. Refining of crude glycerine recovered from glycerol residue by simple vacuum distillation. **Journal of Oil Palm Research**, v. 13, n. 2, p. 39-44, 2001.

## PARTE 1

### **Impactos da aplicação de glicerina bruta residual da produção de biodiesel no solo agrícola e no desenvolvimento vegetal**

#### **RESUMO**

Na busca por matrizes energéticas que possam amenizar os impactos ambientais provocados pelo uso de combustíveis fósseis, o biodiesel se torna uma alternativa economicamente viável e totalmente renovável frente ao petróleo. Entretanto, há alguns problemas a serem resolvidos para que o biodiesel seja considerado sustentável. Dentre as medidas, deve-se dar atenção especial à criação de possibilidades de utilização dos subprodutos gerados. Diante disto, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar as implicações da disposição de glicerina bruta, oriunda da produção de biodiesel utilizando o hidróxido de sódio como catalizador, na fertilidade do solo e no desenvolvimento vegetal. Para tanto, foi desenvolvido experimento em vasos, em delineamento de blocos casualizados (DBC), com sete repetições. Os tratamentos foram organizados em esquema fatorial 4 x 3, com quatro concentrações de glicerina: 0; 48,7; 146,1; 292,2 L ha<sup>-1</sup>; e três períodos de incubação, de 0, 30 e 60 dias; utilizando a alfaca como bioindicadora. A aplicação do resíduo promoveu o aumento nos teores de matéria orgânica, carbono orgânico, pH, CTC, fósforo e potássio do solo (p<0,05). Entretanto, a aplicação do resíduo reduziu a porcentagem de saturação por bases (V%) além de promover o aumento da quantidade de sódio (p<0,05). A adição do resíduo foi prejudicial ao desenvolvimento vegetal em todas as concentrações. A glicerina bruta (proveniente da utilização do Hidróxido de Sódio como catalizador) possui teores de sódio que limitam a aplicação no solo.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Glicerina. Gestão de Resíduos. Salinização.

## **Impacts of biodiesel production residual crude glycerin application on agricultural soil and plant development**

### **ABSTRACT**

On the search for energetic sources that might reduce the environmental impacts caused by the use of fossil fuels, biodiesel has become an economically viable and totally renewable alternative upon petroleum. However, there are some problems to be solved, for biodiesel be considered completely sustainable. Among these problems, special attention must be given for creating possibilities to use the byproducts generated. Given this, this study was developed with the aim of assessing the implications of the provision of crude glycerine, derived from biodiesel production using sodium hydroxide as a catalyst in soil fertility and plant growth. For that, an experiment was carried out in plastic pots, in randomized blocks design, with seven replicates. Treatments were organized according to factorial scheme 4 x 3, where four were the glycerin (residue) concentrations ( $L\ ha^{-1}$ ): 0; 48.7; 146.1 and 292.2; and three were the incubation periods, considering 0, 30 and 60 days. Lettuce was used as bioindicator species. Residue disposal promoted the enhancement of soil organic matter, organic carbon, pH, cationic exchange capacity, phosphorous and potassium ( $p < 0.05$ ). However, residue application reduced the percentage of base saturation (V%) and increased the sodium content ( $p < 0.05$ ). Residue disposal was negative to plant development in all concentrations. Crude glycerin (originated of sodium hydroxide use as catalyst) has sodium levels that limit its application on the soil.

**Keywords:** Biodiesel. Glycerin. Residue management. Salinization.

## 1 INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis são as principais fontes de energia utilizadas pelo homem, responsáveis por cerca de 80% do suprimento global de energia (SARMA et al., 2012). Porém, estes combustíveis estão relacionados com uma série de problemas, pois não são renováveis, seus preços são imprevisíveis, produzem aquecimento global, o desequilíbrio do ecossistema, riscos à saúde e outros efeitos ambientais como a poluição. Deste modo, existe a necessidade de utilizar energia renovável, com ambiente equilibrado e alternativas sustentáveis. Neste sentido, os biocombustíveis são potencialmente capazes de fornecer estas vantagens, com aumento em sua demanda mundial (SARMA et al., 2012).

Dentre os biocombustíveis promissores, destaca-se o biodiesel. Considerado um combustível biodegradável e derivado de fontes renováveis (FANGRUI; HANNA, 1999), o biodiesel é uma alternativa para diminuição do uso de derivados do petróleo (SILVA; FREITAS, 2008).

Embora comumente considerado um combustível renovável por ser oriundo de matérias-primas e insumos renováveis no seu processo de fabricação, o conceito de sustentável deve ser visto com cautela. O intento de sustentável prescinde de conceitos mais abrangentes, mesmo que renovável seja um deles. Abrange concepções econômicas, ambientais, ecológicas, sociais, técnicas, políticas e financeiras. Neste sentido, ainda há alguns problemas relacionados ao biodiesel no que tangem a questão ambiental para ser considerado sustentável. Dentre as medidas, deve-se dar atenção especial para a criação de possibilidades de utilização dos subprodutos gerados (MORET et al., 2009).

O potencial poluidor do segmento é inegável, devido à quantidade de resíduos gerados, cujo manejo inadequado pode vir a gerar, no futuro, problemas ambientais, principalmente poluição de corpos d'água (BUENO et al., 2009).

No processo de transesterificação alcoólica de óleos e gorduras para a produção de ésteres de ácidos graxos (biodiesel) são geradas grandes quantidades de efluente residual, denominada glicerina. Para cada 900 kg de biodiesel são gerados cerca de 100 kg de glicerina (RINALDI et al., 2007).

Estima-se que o mercado de biodiesel global atingirá 140 bilhões de litros em 2016, ou seja, um crescimento anual de 42% (FAN et al., 2010), e que a produção mundial anual será de 159 bilhões de litros em 2020 (OECD / FAO 2011). Isso significa que cerca de 16 bilhões de litros de glicerina bruta serão gerados por ano até 2020.

Existem muitos usos potenciais para a glicerina, como em preparações de alimentos, químicos, industriais e farmacêuticos, entretanto a demanda para estas utilizações é pequena comparada com o grande volume de glicerina a ser produzida (CAYUELA, et al., 2010). Outro fator a ser considerado é a presença de grande quantidade de impurezas na glicerina bruta, impedindo assim seu uso na indústria farmacêutica sem processo de purificação prévia, o que é excessivamente caro (ESCAPA et al., 2009).

Dentre os possíveis destinos para este resíduo, pode-se considerar o solo. A aplicação da glicerina no solo é um uso alternativo que tem recebido pouca atenção (CAYUELA et al., 2010).

O glicerol, principal componente da glicerina, exerce importante função fisiológica, sendo fonte de carbono e energia, agente crioprotetor e osmorregulador para os microrganismos (ARRUDA et al., 2007). Assim sendo, a glicerina poderia realmente ter impactos positivos sobre o solo, sobretudo sobre sua microbiota.

Contudo, seu efeito sobre o desenvolvimento das plantas ainda é desconhecido. É preciso avaliar a composição química do resíduo, como as plantas respondem em relação ao seu valor fertilizante e identificar os possíveis contaminantes (metais pesados, patógenos e xenobióticos) e suas interações com solo, água e as próprias plantas (PIRES et al., 2008).

Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar as implicações da disposição de glicerina bruta, oriunda da produção de biodiesel utilizando o hidróxido de sódio como catalizador, na fertilidade do solo e no desenvolvimento vegetal, considerando a alface (*Lactuca sativa* L.) como planta bioindicadora.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Todo o trabalho foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS – *campus* Machado entre os meses de maio a agosto de 2013.

Cada parcela constou de um vaso plástico com volume total de 0,7 dm<sup>3</sup> de solo. Para o experimento, foi utilizado Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura argilosa coletado na profundidade de 0-20 cm, nas coordenadas 21° 41' 55,26" latitude Sul e 45° 53' 29,64" longitude Oeste de Greenwich. Após a colheita, o solo foi seco ao ar e à sombra, destorroado, peneirado em 5 mm de abertura de malha e homogeneizado. Posteriormente foi realizada amostragem de solo em triplicata para caracterização química, de acordo com Raij et al. (2001). A composição físico-química do solo utilizado é apresentada na Tabela 1.

A glicerina bruta utilizada no experimento foi colhida na unidade de produção de biodiesel pertencente à empresa Abdiesel, situada no município de Varginha – MG,. Esta unidade produz biodiesel a partir da transesterificação homogênea de óleo residual com metanol, utilizando hidróxido de sódio (NaOH) como catalisador.

A amostragem da glicerina foi realizada no dia 28 de fevereiro de 2013. Foram colhidos três frascos com 20 litros. A fim de determinar as características químicas deste resíduo, três sub-amostras de cada recipiente de 20 litros foram enviadas para o Laboratório de Análises químicas “João Carlos Pedreira de Freitas”, da Cooperativa Regional de Cafeicultores (COOXUPÉ), em Guaxupé - MG.

Análises de interesse agrônomo foram feitas, determinando os teores de macro e micronutrientes, matéria orgânica (MO), pH, umidade e condutividade elétrica conforme metodologia descrita por MAPA (2007).

Tabela 1 - Caracterização química do solo utilizado no experimento.

Parâmetro	Unidade	Resultado	Desvio Padrão ( $\sigma$ )
pH		5,3	0
Matéria orgânica	g kg <sup>-1</sup>	19,3	0,58
Fósforo	mg dm <sup>-3</sup>	36,3	1,97
Potássio	mg dm <sup>-3</sup>	133,3	7,02
Cálcio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	24,3	0,58
Magnésio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,1	0,06
Alumínio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	0
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	36	0
Saturação em alumínio (m)	%	3	0
Soma de Bases (S.B)	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	35	1
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	71	1
Saturação por bases (V)	%	49,3	0,58
Cobre	mg dm <sup>-3</sup>	1,2	0,1
Ferro	mg dm <sup>-3</sup>	53,3	1,53
Manganês	mg dm <sup>-3</sup>	22	1
Zinco	mg dm <sup>-3</sup>	10,9	0,3
Boro	mg dm <sup>-3</sup>	0,38	0,05
Areia total	g dm <sup>-3</sup>	470	10
Argila	g dm <sup>-3</sup>	400	10
Silte	g dm <sup>-3</sup>	130	0
Textura		Argilosa	

\* Média simples das três amostras analisadas

Análises de metais pesados foram realizadas na glicerina bruta com a finalidade de verificar se o resíduo atende aos preceitos legais para aplicação no solo. Foram analisados os teores dos metais pesados Cd, Pb, Ni, Cr, Cu e Zn, devido ao potencial tóxico desses elementos conforme EMBRAPA (1999) e quantificados por Espectroscopia de Absorção Atômica em Chamas (FAAS). Analisou-se também o teor de Na por ser componente do processo produtivo do biodiesel e a Relação de Sódio Trocável pela equação  $RAS = Na/1/2(Ca+Mg)^{1/2}$ , em que as concentrações de Na, Ca e Mg na água foram expressas em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>.

A análise dos ésteres dos ácidos graxos foi realizada por método cromatográfico EN ISO 14103 (2003). A composição química do resíduo utilizado no bioteste é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físicas e químicas da glicerina bruta utilizada no experimento\*.

Componente	Análise*	Componente	Análise*
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /AC (%)	0,03 ± 0,01	Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	1,92 ± 0,12
Nitrogênio total (%)	0,11 ± 0,03	Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	1,60 ± 0,46
pH	8,71 ± 0,05	Cádmio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,02 ± 0,02
Umidade (%)	0,72 ± 0,01	Cromo (mg kg <sup>-1</sup> )	0,51 ± 0,45
Carbono orgânico(%)	22 ± 0,01	Chumbo (mg kg <sup>-1</sup> )	0,10 ± 0,10
Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	0,46 ± 0,03	Molibdênio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,14 ± 0,09
Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	0,10 ± 0,01	Níquel (mg kg <sup>-1</sup> )	0,33 ± 0,02
Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	1,64 ± 0,06	Densidade (g mL <sup>-1</sup> )	1,01 ± 0,01
Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	0,04 ± 0,00	Relação C/N	214,35 ± 62,43
Sódio (g kg <sup>-1</sup> )	10,70 ± 0,59	Matéria Orgânica (%)	41,03 ± 1,74
Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )	0,02 ± 0,02	Condutividade elétrica d sm m <sup>-1</sup>	8,75 ± 0,68
Boro (mg kg <sup>-1</sup> )	1,78 ± 1,62	Éster metílico (%)	35,5 ± 0,93
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	0,78 ± 0,21	Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	37,21 ± 0,32
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	33,25 ± 6,31		

\*Média simples das nove subamostras retiradas

Os resultados obtidos foram comparados com os limites de metais pesados recomendados pela Instrução Normativa nº27 do MAPA (2006).

O experimento foi desenvolvido em delineamento de blocos casualizados (DBC), com sete repetições. Os tratamentos foram organizados em esquema fatorial 4 x 3, em que quatro foram as concentrações de glicerina, a saber: 0; 48,7; 146,1 e 292,2 L ha<sup>-1</sup>; e três foram os períodos de incubação: 0, 30 e 60 dias. Foi realizada a homogeneização das porções de solo e glicerina bruta de acordo com os tratamentos e, posteriormente, transferidos para os vasos. Para evitar perda de resíduo pelos drenos, os vasos foram forrados com sacos plásticos de polietileno. Em seguida, o solo tratado com o resíduo foi submetido a diferentes períodos de incubação, mantidos com umidade de 80% da capacidade de campo. Os períodos de incubação foram iniciados em diferentes épocas, de modo a se ter, no mesmo e último dia, a data do plantio do bioindicador (alface cv. Regina 2000).

A alface é uma espécie amplamente utilizada como planta teste nesses estudos com resíduos (MOREIRA et al., 2013, DUARTE et al., 2013) devido a sua sensibilidade a compostos tóxicos, crescimento linear e rápido em ampla faixa de variação de pH (ARAÚJO et al., 2005).

No 60º dia, três repetições de cada tratamento, totalizando 36 unidades experimentais, foram destinadas às análises químicas, conforme Rajj et al. (2001). A porcentagem de sódio trocável (PST) foi analisada de acordo com MAPA (1997).

Para testar o desenvolvimento vegetal em meio a diferentes concentrações e períodos de incubação do solo, as parcelas restantes (quatro repetições para cada tratamento) receberam uma muda de alface da cultivar Regina 2000. As mudas foram cultivadas por 42 dias em casa de vegetação. Nesse período, a umidade dos vasos (previamente perfurados) foi mantida por meio de regas com microaspersores. Aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após plantio (DAP), foram realizadas avaliações à vista desarmada das alterações morfológicas nos órgãos aéreos, atribuindo-se notas variando de zero (ausência de sintomas) a cem (morte das plantas).

Aos 42º DAP foram avaliados o número de folhas sadias por planta, diâmetro médio da planta, massa da matéria fresca além de massa da matéria seca que foi obtida após secagem em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 70º C, até atingir massa constante. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de agrupamento de médias de Scott-knott, ambos com 5% de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As comparações entre os teores de metais pesados obtidos no presente trabalho, na glicerina bruta, com os limites recomendados pela Instrução Normativa nº 27 do MAPA são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Concentração de metais pesados em mg kg<sup>-1</sup> na glicerina bruta, e limites da Instrução Normativa nº27 do MAPA.

<b>METAL</b>	<b>CONCENTRAÇÃO NO RESÍDUO</b>	<b>CONC. MAPA IN. 27/2006</b>
Cádmio	0,02	3,00
Chumbo	0,10	150,00
Cobre	0,78	NE
Cromo	0,51	200,00
Níquel	0,33	70,00
Zinco	1,60	NE

NE – Não estabelecido

Foi constatada concentração abaixo do limite máximo para estes metais, conforme recomendado pela norma brasileira, demonstrando que estes não são fatores que limitam a aplicação em solos agrícolas, conforme Tabela 3.

A Instrução Normativa do MAPA não faz menção alguma em relação aos limites de concentrações do sódio. Este elemento é empregado no processo de fabricação de biodiesel como catalisador durante a transesterificação, na forma de NaOH o que justifica os altos teores encontrados na glicerina bruta, em média  $10,7 \text{ g kg}^{-1}$ , ou seja, aproximadamente 1% da sua composição.

Em relação aos outros metais, alguns são essenciais às plantas, como os micronutrientes Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Níquel (Ni), deste modo, contribuem na produtividade agrícola (MALAVOLTA, 1994; 2006). Elementos como Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e Cromo (Cr) não possuem ainda função benéfica conhecida (BAIRD; CANN, 2011). Entretanto mesmo os micronutrientes, quando em concentrações elevadas, podem causar efeitos tóxicos às plantas (MALAVOLTA, 2006).

Vários resíduos orgânicos de origem agrícola ou industrial, nas formas sólida, pastosa ou líquida são utilizados na agricultura mediante análise criteriosa de suas características. Merlino et al. (2010) verificaram que o lodo do esgoto doméstico avaliado é outro resíduo que possui teores de metais Cd, Cr e Pb abaixo do limite legal estabelecido, podendo assim ser aplicado ao solo.

Segundo Ramalho et al. (2001), a utilização da vinhaça em larga escala, não altera os teores de metais pesados nos solos, trazendo baixos riscos de contaminação das áreas. Os autores complementam que o uso de torta de filtro no solo durante 20 anos acarretou aumento nos teores de Cd, Pb, Co, Cr, Cu e Ni, porém esses metais ficam em formas químicas pouco móveis e indisponíveis para absorção pelas plantas.

Portanto, assim como o lodo de esgoto doméstico ou a vinhaça, a aplicação de glicerina bruta no solo não é limitada pelos teores dos metais Cd, Cr, Pb, Co, Ni e Zn.

### **Análise do solo – Matéria Orgânica, C- orgânico e CTC**

Detectou-se interação fatorial das doses de glicerina bruta com o tempo de incubação sobre o teor de Matéria Orgânica do solo ( $p < 0,05$ ). Quanto maior foi a adição de glicerina, maior foi o teor de MO no solo e bem como a quantidade reduzida no decorrer do tempo (Tabela 4).

A glicerina bruta possui teor de MO em torno de 41%, o que promoveu grande alteração no teor de MO do solo. Quanto à redução no tempo, Santos et al. (2009) afirmam que os resíduos adicionados ao solo na forma de composto orgânico são decompostos por microrganismos.

A adição de resíduo orgânico eleva o teor de MO no solo. Ferrer et al. (2011) e De Maria et al. (2007) constataram que adição de lodo de esgoto eleva o teor de MO. No entanto, a manutenção do teor fica condicionada a aplicações sucessivas devido à ação de microrganismos decompositores com decorrer do tempo (OLIVEIRA et al., 2002).

A elevação do teor de MO constitui-se o principal benefício do uso agrícola de resíduos orgânicos, pois contribui para a melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (BERTON; VALADARES, 1991). A MO possui radicais carboxílicos e fenólicos e a dissociação das oxidrilas destes radicais em função da elevação do pH do solo geram cargas elétricas negativas em sua superfície (LOPES; GUILHERME, 2004).

Tabela 4 - Resultados analíticos<sup>1</sup> do solo experimental após adição de resíduo da produção de biodiesel e diferentes períodos de incubação. Machado, 2013.

Tratamento	Período de Incubação (Dias)		
	0	30	60
Matéria Orgânica (g dm <sup>-3</sup> )			
Controle	24,1 C a	23,8 B a	25,3 B a
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	27,1 C a	26,4 B a	26,8 B a
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	35,0 B a	29,8 B b	29,6 B b
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	55,5 A a	50,7 A b	39,3 A c
F <sub>int</sub>	7,232**	CV(%)	8,26
Carbono Orgânico (g dm <sup>-3</sup> )			
Controle	13,7 C a	13,7 B a	14,4 B a
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	15,7 C a	15,0 B a	15,0 B a
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	19,7 B a	17,0 B b	16,7 B b
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	31,7 A a	29,0 A a	22,4 A b
F <sub>int</sub>	6,377**	CV(%)	8,66
Capacidade de Troca de Cátions - CTC (mmolc dm <sup>-3</sup> )			
Controle	74,5 B a	74,3 B a	75,5 B a
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	69,4 C a	69,1 B a	65,8 C a
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	76,9 B a	69,8 B b	61,0 C c
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	95,2 A b	107,2 A a	88,1 A c
F <sub>int</sub>	8,12**	CV(%)	4,43

<sup>1</sup>Dados seguidos por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância. \*\* Valor de F significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de Variação.

Houve interação fatorial das doses de glicerina bruta com o tempo de incubação sobre o teor de Carbono Orgânico (C-orgânico) do solo ( $p < 0,05$ ). Quanto maior a adição de glicerina maior foi o teor de C-orgânico no solo e maior foi a quantidade reduzida no decorrer do tempo (Tabela 4).

Além da glicerina, o aumento do C-orgânico pode estar relacionado à quantidade de lipídios contidos na glicerina bruta, uma vez que o total de ésteres metílicos do ácido graxo no resíduo foi de 35,5%. Oliveira et al. (2013) avaliaram a composição química da glicerina bruta de 16 indústrias com diferentes matérias-primas para produção do biodiesel. Constataram que a porcentagem média de lipídios totais foi de 7,8%, alcançando teor máximo de 37,7%.

A aplicação de resíduos orgânicos pode favorecer também o aumento do C-orgânico do solo. Santos (2009) concluiu que aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto doméstico elevou os teores de C-orgânico. A redução do C-orgânico no decorrer do período de incubação, mais precisamente na dose 3 de 31,7 à 22,4 g  $\text{dm}^{-3}$ , correspondentes à 0 e 60 dias, pode estar ligada a atividade microbiológica do solo. Santos et al. (2009) sugerem que a diminuição do C-orgânico do solo está relacionada a utilização deste C como fonte de energia para os microrganismos degradarem o material orgânico adicionado.

Também houve interação das doses de glicerina bruta com o tempo de incubação sobre a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do solo ( $p < 0,05$ ). Houve redução da CTC mesmo com aplicação de glicerina bruta nas doses 1 e 2 para os três períodos de incubação. No entanto, com a maior dose (3), a CTC do solo aumentou mesmo após 60 dias de incubação (Tabela 4).

Embora a MO ocorra em proporções relativamente pequenas no solo, é a principal responsável pela geração de cargas elétricas negativas nos solos brasileiros, tendo em vista a alta densidade de carga que possui, entre 200 a 400  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , contribuindo assim com a CTC (FURTINI NETO et al., 2001).

#### **Análise do solo – pH, V%, Na e PST.**

Detectou-se interação fatorial das doses de glicerina bruta com o tempo de incubação sobre os valores de pH do solo ( $p < 0,05$ ). A aplicação do resíduo foi benéfica para a elevação do pH, sendo mais incisiva em doses intermediárias, como as doses 1 e 2, com o período de incubação de até 60 dias. Oliveira et al. (2002) ao aplicar outro resíduo orgânico, o lodo de

esgoto doméstico, em Latossolo Amarelo Distrófico, verificaram também aumento nos valores de pH.

Oliveira et al. (2002) atribuíram o aumento do pH à alcalinidade intrínseca, sendo maior do que 10 do resíduo estudado. Segundo os mesmos autores, no processo de tratamento do lodo são adicionadas quantidades elevada de CaO, uma base forte. Na produção do biodiesel outra base forte é utilizada no processo: o hidróxido de sódio (NaOH).

Detectou-se interação fatorial das doses de glicerina bruta com o tempo de incubação sobre na porcentagem de Saturação por Bases do solo ( $p < 0,05$ ). Houve aumento da porcentagem de Saturação por Bases (V%) principalmente na menor dose, entretanto reduziu-se na maior dosagem.

O aumento na V% com o período de incubação pode estar relacionado à redução dos valores de CTC e não aos acréscimos de Ca e Mg, pois a V% e CTC são inversamente proporcionais. A única base que contribuiu para o aumento de V% com aumento crescente doses de glicerina bruta foi o potássio (Tabela 8).

Martins et al. (2004) relataram aumento na CTC e redução na V% com acréscimo de esterco líquido de suínos no solo, devido a alterações nos valores de pH e alumínio trocável.

Houve interação das doses de glicerina bruta com o tempo de incubação na concentração de Sódio (Na) no solo ( $p < 0,05$ ). Quanto maior a adição de glicerina maior foi a concentração de Na no solo e maior foi também a quantidade adsorvida no decorrer do tempo, indicando alta capacidade de sodificação, aumentando em até 295 vezes a concentração (Tabela 5).



Tabela 5 - Resultados analíticos<sup>1</sup> do solo experimental após adição de resíduo da produção de biodiesel e diferentes períodos de incubação. Machado, 2013.

Tratamento	Período de Incubação (Dias)		
	0	30	60
pH (CaCl <sub>2</sub> 0,01mol L <sup>-1</sup> )			
Controle	4,8 C a	4,9 C a	4,9 D a
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	5,3 B a	5,3 A a	5,4 B a
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	5,2 B b	5,2 A b	5,6 A a
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	5,4 A a	5,0 B c	5,2 C b
F <sub>int</sub>	8,499**	CV(%)	1,56
Saturação por bases (%)			
Controle	57,5 A a	57,4 B a	58,1 B a
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	59,6 A b	61,9 A b	65,5 A a
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	56,6 A b	57,5 B b	65,0 A a
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	48,9 B a	40,9 C b	47,5 C a
F <sub>int</sub>	9,856**	CV(%)	2,87
Sódio mg dm <sup>-3</sup>			
Controle	0,83 D a	0,69 D a	0,91 D a
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	41,43 C a	39,01 C a	39,86 C a
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	77,81 B c	97,30 B b	116,32 B a
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	245,48 A a	215,18 A b	217,48 A b
F <sub>int</sub>	8,740**	CV(%)	9,28
Porcentagem de Sódio Trocável (PST)			
Controle	0,04 D a	0,04 D a	0,05 D a
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	2,52 C a	2,38 C a	2,56 C a
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	4,21 B c	5,70 B b	7,66 B a
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	10,08 A a	8,03 A b	9,73 A a
F <sub>int</sub>	14,863**	CV(%)	10,44

<sup>1</sup>Dados seguidos por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância. \*\* Valor de F significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de Variação.

A concentração de Sódio (Na), foi o parâmetro químico mais alterado no solo com aplicação de glicerina bruta. Mesmo na menor variação (incubação de 30 dias e dose 1), o aumento foi de 56 vezes em relação a quantidade inicial.

O resíduo possui alta concentração deste elemento, 10,7 g kg<sup>-1</sup>, muito acima de valores encontrados em outros resíduos orgânicos, como o lodo de esgoto com 0,76 g kg<sup>-1</sup> (OLIVEIRA et al., 2002) e vinhaça, 51 mg L<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2012).

O Na encontrado na glicerina bruta é proveniente do catalisador (NaOH) utilizado durante o processo produtivo do biodiesel (FERRARI et al., 2005).

Também interação das doses de glicerina bruta com o tempo de incubação sobre a Porcentagem de Sódio Trocável (PST) no solo ( $p < 0,05$ ). Quanto maior a adição de glicerina maior foi a concentração de PST no solo e maior foi também a quantidade adsorvida no decorrer do tempo (Tabela 5).

A PST foi outro parâmetro químico elevado substancialmente no solo com aplicação de glicerina bruta. Mesmo na menor variação (incubação de 30 dias e dose 1), o aumento foi de 59 vezes.

Gonçalves et al. (2011) constataram redução na concentração de Ca e Mg do solo após aplicação de água salina com alta relação de adsorção de sódio (RAS).

Quando a relação de Na com outros cátions, sobretudo Ca e Mg, é muito elevada ( $> 26$ ), o Na tende a substituir os íons Ca e Mg nas partículas do solo (LIMA et al., 1990). O resíduo possui RAS de 37,21, ou seja, valor elevado indicando que, possivelmente, está ocorrendo a troca nos sítios de adsorção.

### **Análise do solo – S, P e K**

Houve interação entre as doses de glicerina bruta e o tempo de incubação no teor de enxofre (S) do solo ( $p < 0,05$ ). Quanto maior a adição de glicerina (até a dose 2) maior foi o teor de S no solo que diminuiu no decorrer do tempo (Tabela 6).

Mesmo com o período de incubação do solo, a aplicação de glicerina bruta aumentou em até  $3,3 \text{ mg dm}^{-3}$ , correspondendo a  $6,6 \text{ kg ha}^{-1}$  de S. Segundo Santos et al. (1981), de modo geral as culturas como arroz, milho, sorgo, cana-de-açúcar necessitam de  $20 \text{ kg de S ha}^{-1}$ .

De acordo com Santos et al. (1981), o teor de S no solo, principalmente na sua forma orgânica, está relacionado com a quantidade de MO, chegando a constituir 75% do S existente no solo. Diante disto, como houve aumento de MO com adição de glicerina e redução no decorrer do tempo, conseqüentemente os teores de S também reduziram com o período de incubação do solo.

Pode-se atribuir a redução do S no solo à maior aplicação de glicerina bruta (dose 3) a alguns fatores. Segundo Catani et al. (1971), com aumento do pH do solo diminui a adsorção de sulfato. Chao et al. (1964), a níveis elevados de pH, há o aumento da concentração de íons  $\text{OH}^-$ , os quais deslocam os íons de  $\text{SO}_4^{2-}$ , competindo pelos sítios de adsorção nos colóides do solo.

Outro fator que afeta o S no solo é a concentração de fósforo, sobretudo os íons fosfatados. Segundo Chao et al. (1964), o íon fosfato desloca o sulfato dos colóides do solo.

Tabela 6 - Resultados analíticos<sup>1</sup> para enxofre do solo experimental após adição de resíduo da produção de biodiesel e diferentes períodos de incubação. Machado, 2013.

Tratamento	Período de Incubação (Dias)		
	0	30	60
	Enxofre mg dm <sup>-3</sup>		
Controle	9,8 C a	9,4 A a	11,0 B a
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	13,7 B a	11,5 A a	10,2 B a
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	18,7 A a	11,9 A b	14,3 A b
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	8,4 C a	4,2 B b	2,9 C b
F <sub>int</sub>	3,083**	CV(%)	17,21

<sup>1</sup>Dados seguidos por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância. \*\* Valor de F significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de Variação.

Não houve interação de tratamentos com o período de incubação ( $p > 0,05$ ), contudo houve efeito de período de incubação sobre o teor de P no solo ( $p < 0,05$ ), reduzindo sua quantidade em até 11,38% (Tabela 7). Segundo Nziguheba et al. (1998), a decomposição de materiais orgânicos pode reduzir a adsorção de P devido à formação de ácidos orgânicos que tendem a competir com o fósforo pelos sítios de adsorção.

Houve efeito de doses sobre o teor de P no solo ( $p < 0,05$ ). Com a aplicação da maior dosagem de resíduo, houve aumento no teor de fósforo em média 21,7%, conforme pode ser observado na Tabela 7. Dentre os macronutrientes, o P é requerido em menor quantidade pelas plantas (RAIJ, 1991), mas é o nutriente mais utilizado na adubação brasileira juntamente com nitrogênio e potássio (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE FERTILIZANTES, 2012). O alto número de adubações ocorre pelo fato das plantas não aproveitarem mais do que 10% do P aplicado, pois, em regiões tropicais com solos ácidos e ricos em Al e Fe, este nutriente fica fortemente retido ao solo (MALAVOLTA, 1989).

Os resíduos orgânicos têm papel considerável na disponibilidade de P, pois a matéria orgânica é capaz de adsorver íons fosfato. Novais et al. (1999) relataram que o P adicionado na forma inorgânica e adsorvido a compostos orgânicos, originando o P orgânico, presente no solo em formas como ortofosfato de mono ésteres e ortofosfato de diésteres.

Tabela 7 - Resultados analíticos<sup>1</sup> para fósforo do solo experimental após adição de resíduo da produção de biodiesel e diferentes períodos de incubação. Machado, 2013.

Tratamento	Período de Incubação (Dias)			Médias
	0	30	60	
	Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )			
Controle	40,36	41,98	42,46	41,60 b
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	39,17	33,21	35,76	36,04 c
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	45,4	45,49	33,34	41,41 b
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	53,85	51,27	46,86	50,66 a
<b>Médias</b>	44,69 a	42,99 a	39,60 b	
	F <sub>in</sub>			3,705**
	F <sub>t</sub>			15,229**
	CV(%)			10,98

<sup>1</sup>Dados seguidos por letras iguais não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância. \*\* Valor de F significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de Variação.

Não houve interação de doses de glicerina bruta com o tempo de incubação na concentração de potássio (K) no solo ( $p > 0,05$ ). Somente houve efeito de doses de glicerina bruta sobre o teor de K no solo ( $p < 0,05$ ), conforme observado na Tabela 8.

O teor deste elemento aumentou somente após a aplicação de doses maiores (dose 3), variando de 3,31 a 3,83 mmolc dm<sup>-3</sup> (Tabela 8). Outros resíduos orgânicos também possuem a capacidade de elevar o teor de potássio no solo, como a vinhaça (BEBÉ et al., 2009), lodo de esgoto (NASCIMENTO et al., 2004) e manipueira (SANTOS et al., 2010).

Alguns resíduos orgânicos podem beneficiar o complexo sortivo do solo em relação aos cátions K<sup>+</sup> (potássio), Ca<sup>++</sup> (cálcio), Mg<sup>++</sup> (magnésio), elevando a soma de bases (FERRER et al., 2011).

As necessidades de K para o melhor crescimento das plantas situam-se na faixa de 20-50 g kg<sup>-1</sup> da massa das partes vegetativas secas da planta, das frutas e dos tubérculos (MEURER, 2006).

Tabela 8 - Resultados analíticos<sup>1</sup> para potássio do solo experimental após adição de resíduo da produção de biodiesel e diferentes períodos de incubação. Machado, 2013.

Tratamento	Período de Incubação (Dias)			Médias
	0	30	60	
	Potássio (mmolc dm <sup>-3</sup> )			
Controle	3,24	3,25	3,44	3,31 b
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	3,34	3,33	3,45	3,41 b
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	3,61	3,45	3,46	3,47 b
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	4,01	3,82	3,67	3,83 a
F <sub>t</sub>	14,208**		CV(%)	5,16

<sup>1</sup>Dados seguidos por letras iguais não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância. \*\* Valor de F significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de Variação.

### Análise da planta

Houve interação entre as doses de glicerina bruta e o tempo de incubação no desenvolvimento vegetal ( $p < 0,05$ ). Quanto maior a adição de glicerina bruta no solo mais prejudicial foi desenvolvimento das plantas, contudo os efeitos foram amenizados no decorrer do tempo (Tabela 9).

O efeito negativo da aplicação foi observado do início ao término do ciclo da planta, Tabela 9.

Tabela 9 - Avaliação a vista desarmada do grau de intoxicação (%) dos órgãos aéreos após adição de resíduo da produção de biodiesel e diferentes períodos de incubação do solo Machado, 2013

Tratamento	Período de Incubação (Dias)		
	0	30	60
7 DAP			
Controle	0 Ba	0 Ca	0 Ba
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	2,8 Ba	6,3 Ba	5,5 Aa
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	4,8 Ba	5,5 Ba	7,5 Aa
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	85,0 Aa	71,0 Ab	8,0 Ac
F <sub>int</sub>	216,582	CV(%)	17,38
14 DAP			
Controle	0 Ca	0 Ca	0 Ca
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	19,75 Ba	23,35 Ba	21,5 Ba
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	21 Bb	23,75 Ba	25 Aa
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	95,25 Aa	74,75 Ab	27,5 Ac
F <sub>int</sub>	299,838	CV(%)	7,44
21 DAP			
Controle	0 Da	0 Da	0 Da
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	29,75 Ca	29,75 Ca	29,75 Ca
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	33 Bb	37,25 Ba	36,25 Ba
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	99,75 Aa	86 Ab	53,75 Ac
F <sub>int</sub>	349,055	CV(%)	3,56
28 DAP			
Controle	0 Ca	0 Da	0 Da
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	49,75 Ba	41 Cb	38,75 Cb
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	52,75 Ba	49,5 Bb	48 Bb
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	100 Aa	90,75 Ab	61 Ac
F <sub>int</sub>	352,61	CV(%)	5,24
35 DAP			
Controle	0 Ca	0 Da	0 Da
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	73,25 Ba	51,75 Cb	49,75 Cb
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	73 Ba	75 Ba	72 Ba
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	100 Aa	93,75 Ab	81 Ac
F <sub>int</sub>	34,124	CV(%)	4,28
42 DAP			
Controle	0 Ca	0 Da	0 Da
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	78,5 Ba	51,75 Cb	50,75 Cb
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	80 Bb	83,5 Ba	80 Bb
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	100 Aa	96,5 Ab	85,25 Ac
F <sub>int</sub>	111,877	CV(%)	2,60

<sup>1</sup>Dados seguidos por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância. \*\* Valor de F significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de Variação.

Pressupõe-se que a inibição do crescimento das plantas foi devido principalmente ao aumento da salinidade do solo, em especial ao aumento da quantidade de sódio.

A adição de glicerina bruta na dose 3 afetou negativamente o desenvolvimento dos órgãos aéreos da alface em até 85%. A medida que o tempo de incubação do solo aumentou houve maior tolerância das plantas a salinidade provocada pelo acréscimo das dosagens de glicerina bruta, entretanto, mesmo com incubação do solo por 60 dias houve redução do crescimento da planta, variando de 5,5 a 8% para as doses 1 e 3 respectivamente, logo na primeira semana (Tabela 9). Segundo Dias et al. (2010), o aumento da pressão osmótica acarretada pela concentração de sais pode atingir níveis em que os vegetais não terão forças de sucção suficiente para superar essa pressão, e, por conseguinte, a planta não irá absorver água, mesmo do solo aparentemente úmido (seca fisiológica). De acordo com o autor, dependendo do grau de salinidade, a planta em vez de absorver água poderá até perder.

O decréscimo no desenvolvimento dos órgãos aéreos foi de ao menos 50,75% ao final do ciclo da cultura, quando adicionou a menor dose de glicerina bruta, chegando na perda total da produtividade quando adicionou a maior dosagem e não houve período de incubação, conforme observado na Tabela 9 e Figuras 3 e 4.

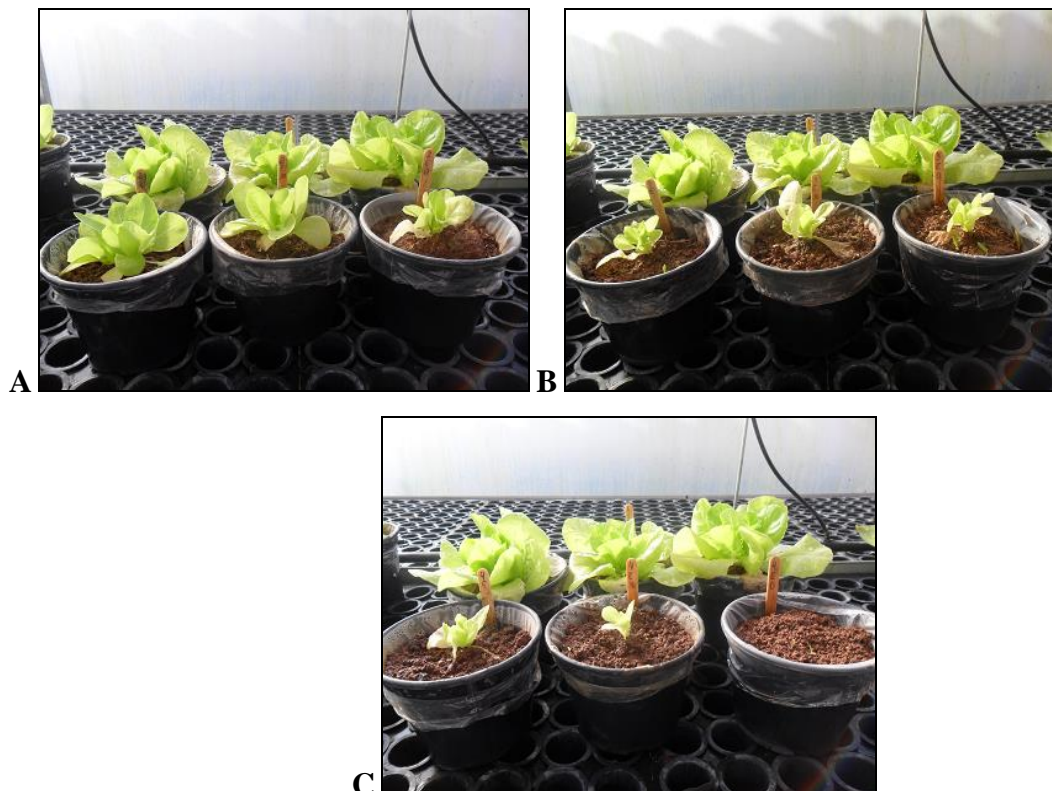


Figura 3 - Comparação entre diferentes períodos de incubação do solo para a concentração (A)  $48,7 \text{ L ha}^{-1}$ , (B)  $146 \text{ L ha}^{-1}$  e (C)  $292,2 \text{ L ha}^{-1}$  com 42 DAP

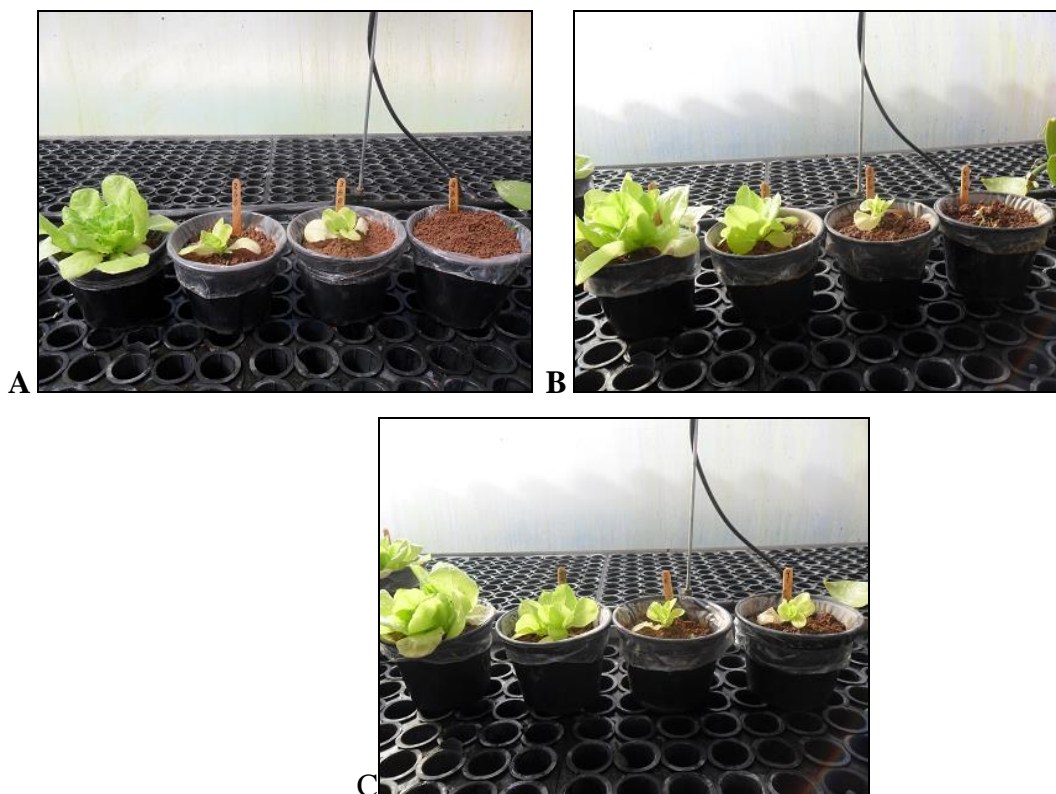


Figura 4 - Comparação entre concentrações diferentes e período de incubação (A) 0 dia, (B) 30 dias e (C) 60 dias com 42 DAP.

Houve interação entre as doses de glicerina bruta e o tempo de incubação na fitomassa fresca e seca da planta, número de folhas saudias e diâmetro médio ( $p < 0,05$ ). Quanto maior a adição de glicerina bruta no solo menor as fitomassas frescas e secas, número de folhas e diâmetro da planta, contudo os efeitos foram amenizados no decorrer do tempo (Tabela 10).

Houve diminuição na fitomassa fresca da alface em todas as doses, sendo mais incisiva para o período de zero dia de incubação, variando de 90,21 a 100% de perda. Contudo, mesmo com incubação do solo por 60 dias as perdas foram de 71,14 a 93,86% (Tabela 10).

Variações também foram verificadas nos controles, tanto da massa fresca quanto da seca, possivelmente pela redução de MO do solo que foi consumida pelos microrganismos durante o período de incubação (Tabela 10).

Ainda houve redução ainda na fitomassa seca total das plantas, mesmo com a aplicação da dose mínima, variando de 89,81% e 72,72% para 0 e 60 dias de incubação respectivamente, dados observados na Tabela 10.

Estudos realizados por Viana et al. (2004) verificaram redução linear do crescimento absoluto da parte aérea da alface com aumento da salinidade da água de irrigação. O



decréscimo unitário da taxa de crescimento, relativos a  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ , por incremento unitário de condutividade elétrica (CE), foi 13,8% para o período de 0-10 dias após plantio.

Resultados obtidos por Gervásio et al. (2000) e Viana et al., (2004), também constataram redução da fitomassa da parte aérea da alface com o aumento da  $CE_a$  a partir de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ . A condutividade elétrica do resíduo foi de  $8,75 \text{ dS m}^{-1}$ , ou seja, contribui para a perda de fitomassa da planta. Segundo Oliveira (2002), o aumento da condutividade elétrica do solo é positivamente correlacionado com a aplicação de alguns resíduos orgânicos como lodo de esgoto. Possivelmente houve incremento na condutividade elétrica do solo com a aplicação crescente de glicerina bruta, devido ao grande aumento de Na, elemento que está diretamente correlacionado com a condutividade.

Gervásio et al. (2000) observaram que o consumo de água em alface, durante o ciclo de produção, diminuiu com níveis crescentes de salinidade da água de irrigação, evidenciando um déficit de evapotranspiração da ordem de 28% entre plantas irrigadas com água nas concentrações de  $0,18$  e  $6 \text{ dS m}^{-1}$ . Em função desta redução de evapotranspiração os autores verificaram decréscimo de 60 e 72% para as variáveis produção total e produção comercial respectivamente.

Segundo Dias et al. (2010) a água com predominância dos íons de sódio pode promover a dissolução das partículas de argila, diminuindo a permeabilidade do solo, causando redução da aeração do solo e inibição do desenvolvimento do sistema radicular das plantas e conseqüente perda de produção.

O sódio presente no percolado do solo em altas concentrações, sendo extremamente solúvel pode ocasionar aumento da pressão osmótica (PO) do solo. O aumento PO da solução do solo acarreta na diminuição no abastecimento da água, na absorção, retardando inclusive a germinação, e causando toxicidade.

Segundo Zhu (2001), a adição na concentração de sódio na solução do solo prejudica também a absorção radicular de nutrientes, principalmente K e Ca, e interfere nas suas funções fisiológicas.

A pequena diferença para as fitomassas, tanto fresca quanto seca com relação ao período de incubação pode ser explicada pelo contado direto das raízes das plantas com o resíduo com alta concentração de sódio. Segundo Essa (2002), a alta concentração de sais solúveis na zona radicular diminui o fluxo de água no sentido solo → planta → atmosfera, por efeito osmótico, conseqüentemente a redução da transpiração da planta, prejudicando assim o desenvolvimento da planta.

Tabela 10 - Massa Seca Total, Massa Fresca Total, Número de Folhas, Diâmetro Médio após adição de resíduo da produção de biodiesel e diferentes períodos de incubação do solo. Machado, 2013

Tratamento	Período de Incubação (Dias)		
	0	30	60
Massa Fresca total (g)			
Controle	17,89 Aa	17,53 Aa	15,49 Ab
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	1,75 Bb	4,47 Ba	4,47 Ba
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	1,37 Ba	1,41 Ca	1,71 Ca
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	0,00 Ba	0,40 Ca	0,95 Ca
F <sub>int</sub>	4,447**	CV(%)	19,22
Massa Seca total (g)			
Controle	2,75 Aa	2,57 Aa	2,09 Ab
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	0,28 Bb	0,53 Ba	0,57 Ba
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	0,23 Ba	0,22 Ca	0,26 Ca
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	0,00 Ba	0,05 Ca	0,17 Ca
F <sub>int</sub>	5,637**	CV(%)	22,3
Número de folhas sadias			
Controle	16,50 A a	17,25 A a	15,5 A a
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	8,75 B b	13,00 B a	13,5 B a
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	7,75 B b	7,00 C b	10,00 C a
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	0,00 C c	4,50 D b	7,00 D a
F <sub>int</sub>	8,070**	CV(%)	12,91
Diâmetro Médio (cm)			
Controle	16,43 Aa	15,33 Aa	13,43 Ab
Dose 1 – 48,7 L ha <sup>-1</sup>	5,25 Bb	8,96 Ba	9,57 Ba
Dose 2 – 146,1 L ha <sup>-1</sup>	5,18 Ba	4,75 Ca	5,27 Ca
Dose 3 – 292,2 L ha <sup>-1</sup>	0,00 Cc	2,27 Db	3,73 Da
F <sub>int</sub>	12,608**	CV(%)	13,08

<sup>1</sup>Dados seguidos por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott, com 5% de significância. \*\* Valor de F significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de Variação.

A aplicação de glicerina bruta no solo reduziu o número de folhas sadias nas plantas de alface ( $p < 0,05$ ). No entanto, com o período de incubação de 30 e 60 dias houve aumento no número quando comparados com período sem incubação ( $p < 0,05$ ). A redução do número de folhas acarretada por esses fatores variou de 12,9 (dose 1 e período de 60 dias) a 100% (dose 3 e período de 0 dia), (Tabela 10). Os efeitos negativos da aplicação persistiram mesmo incubando o solo por 60 dias.

Avaliando os dados da Tabela 10, evidencia-se que a diminuição do número de folhas está relacionada com aumento na concentração de glicerina bruta no solo. Este resíduo possui

alto nível de salinidade, que pode ter alterado o potencial osmótico da planta. Diante do exposto, a alface teve seu crescimento afetado pelos níveis do sal no solo, resultando assim em alterações morfológicas (menor número de folhas).

Oliveira et al. (2011) observaram menor número de folhas em diversas cultivares de alface estudadas afetadas pela salinidade da água de irrigação. Também foi possível verificar o efeito da salinidade sobre o número de folhas à medida que se incrementou a concentração salina a água de irrigação.

Observa-se na Tabela 10 grande redução no diâmetro médio da planta com aumento progressivo das doses de glicerina bruta. No entanto as perdas reduziram no decorrer no tempo, variando de 27,77 % para a mesma dose e diferentes períodos de incubação do solo (0 e 60 dias).

O período de incubação do solo reduziu as perdas tanto de fitomassa fresca e seca, quanto número de folhas e diâmetro da planta. Segundo Taiz et al. (2006) a maior parte das plantas pode se ajustar osmoticamente, quando crescendo em solos com alto teor de sais. Tal ajuste evita a perda de turgor (quando retardaria o crescimento celular) ao gerar um potencial hídrico mais baixo, mas essas plantas muitas vezes continuam a crescer mais lentamente após tal ajuste.

Outro fator que possivelmente prejudicou o crescimento e desenvolvimento das plantas foi a relação C/N do resíduo ser extremamente alta. Um composto deverá ter a relação C/N igual ou menor que 18. Entretanto, se o resíduo possui relação C/N acima de 30, os microrganismos irão utilizar o N do solo competindo com as plantas (KIEHL, 1998). Kiehl (1985) relatou que a aplicação de resíduos com alta relação C/N induz a deficiência de N nas culturas.

A deficiência de N é maléfica para o desenvolvimento das plantas. Almeida et al. (2011) constataram que a deficiência deste nutriente faz com que ocorra decréscimo na altura das plantas, área foliar, número de folhas e ainda amarelecimento das folhas mais velhas. Este decréscimo implica que conseqüentemente, as plantas tenham menor fitomassa fresca e seca.

Villas Bôas et al. (2004) observaram que compostos com baixa relação C/N (10/1) como a palhada de feijão a liberação de nutrientes é mais rápida para as plantas de alface em relação a casca de eucalipto (23/1) e serragem de madeira (26/1), promovendo assim incrementos na biomassa fresca e seca.

A glicerina bruta do presente estudo possui relação C/N de 214,35, ou seja, muito acima dos valores recomendados, ou seja, igual ou menor que 18.

Pode-se relacionar ainda o Na com o N. A presença desse elemento tende ainda restringir a taxa de mineralização do nitrogênio uma vez que, com o aumento de sua concentração no solo, normalmente a mineralização do N orgânico é reduzida, afetando assim o crescimento da planta, pela redução do nitrogênio disponível e não pelo excesso de Na (DIAS et al., 2010)

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A aplicação foi benéfica para algumas variáveis do solo como teor MO, C-orgânico, pH, P e K.

O teste utilizando a planta bioindicadora *Lactuca sativa* evidenciou que as aplicações de glicerina bruta no solo agrícola em que se utilizou o NaOH como catalisador na produção de biodiesel são prejudiciais para o desenvolvimento vegetal. Esta inibição foi observada mesmo nas menores concentrações de resíduo no solo.

A aplicação de glicerina bruta no solo ocasiona redução na massa fresca e seca, número de folhas e diâmetro da alface, devido principalmente ao aumento da salinidade do solo.

A incubação do solo ameniza os efeitos negativos da aplicação de glicerina bruta no desenvolvimento vegetal.

A alta relação C/N do resíduo é outro fator preponderante que limita sua aplicação em solos agrícolas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T.B.F. et al. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Revista Biotemas**, v. 24, n. 2, p. 27-36, 2011.

ANUÁRIO estatístico do setor de fertilizantes: 2011. São Paulo: ANDA, 2012. 178 p.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Plant bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. **Scientia Agricola**, v.62, n.3, p. 286-290, 2005.

ARRUDA, P. V.; RODRIGUES, R. C. L. B.; FELIPE, M. G. A. Glicerol: um subproduto com grande capacidade industrial e metabólica. **Revista Analytica**, v.1, n. 26, p. 56-62, 2007.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BEBÉ, F.V. et al. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 781-787, 2009.

BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S. Potencial agrícola de composto de lixo urbano no Estado de São Paulo. **O agrônomo**, v. 43, n. 2, p. 87-93, 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA No 27, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 de junho de 2006. Seção 1, p.15- 16.

BUENO, O. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; TAKITANE, I. C. Produção de biodiesel no Brasil: aspectos socioeconômicos e ambientais. **Ceres**, v. 56, n. 4, p. 507-512, 2009.

CATANI, R. A., GLÓRIA, N. A.; G. C. VITTI. A adsorção de sulfato pelo solo. **Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"**, v. 28, p. 235-245, 1971.

CAYUELA, M.L. et al. "Bioenergy by-products as soil amendments? Implications for carbon sequestration and greenhouse gas emissions". **GCB Bioenergy**, v. 2, n. 4, p. 201-213, 2010.

CHAO, T.T.; HARWARD, M.E.; FANG, S.C. Iron or aluminum coatings in relation to sulfate adsorption characteristics of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**,

v.28, n.5, p.632-635, 1964.

DE MARIA, I.C.; KOCSSIS, M.A.; DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 291-298, 2007.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p.127-141, 2010.

DUARTE, A. de S. et al. Alterações dos Atributos Físicos e Químicos de um Neossolo APOS Aplicação de doses de manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 938-946, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de análise química dos solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, 1999. 370p.

EN ISO 14103:2003; **Fat and oil derivatives. Fatty Acid Methyl Esters (FAME). Determination of ester and linolenic acid methyl esters content**, 2003.

ESCAPA A. et al. Hydrogen production from glycerol in a membrane less microbial electrolysis cell. **Energy Fuels**, v. 23, n. 9, p. 4612-4618, 2009.

ESSA, T.A. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 188, n. 2, p. 86-93, 2002.

FAN X., BURTON R., ZHOU Y. Glycerol (Byproduct of Biodiesel Production) as a Source for Fuels and Chemicals—Mini Review. **Open Fuels Energy Science Journal**, v. 3, n. 1, p. 17-22, 2010.

FANGRUI, M.A.; HANNA, M.A.; Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, v. 70, n. 1, p. 1-15, 1999.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.

FERRER, A. et al. Evolution of the soil and vegetation cover on road embankments after the application of sewage sludge. **Water Air Soil Pollution**, v. 214, p. 231-240, 2011.

FURTINI NETO, A.E. et al. Textos Acadêmicos – **Fertilidade do solo**: Universidade Federal de Lavras, UFLA/FAEPE, 2001.

GERVÁSIO, E.S.; CARVALHO, J.A.; SANTANA, M.J. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 125-128, 2000.

GONÇALVES, I. V. C et al. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agrônômicas**, v. 42, n. 3, p. 589-596, 2011.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem** – maturação e qualidade do composto. Piracicaba, 1998. 171 p.

LIMA, L. A.; GRISMER, M. E.; NIELSEN, D. R. Salinity effect on yolo loam hydraulic properties. **Soil Science**, v. 150, n. 1, p. 451-458, 1990.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L .R.G. **Interpretação de análise do solo**: conceitos e aplicações. 3ª edição. Comitê de pesquisa/Técnico/ANDA (associação Nacional para difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas). São Paulo, 2004. 64 p. (Boletim Técnico, 2)

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: metais pesados, mitos, mistificação e fatos. Produquímica: São Paulo, 1994.

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

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292p.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília, 2007. 141 p.

MARTINS, F. Q. de. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004.

MERLINO, L. C. S. et al. Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 2031-2039, 2010.

MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.281-298.

MOREIRA, R. S.; MINCATO, R. L.; SANTOS, B. R. Disponibilidade de metais pesados e fertilidade do solo após a aplicação de lamas de depuração em Latossolo Vermelho distrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 6, p. 612-520, 2013.

MORET, A. S. et al. Análise da sustentabilidade do biodiesel com uso da Análise de Custos Completos. **Espaço Energia**, v. 1, n. 11, p. 14-23, 2009.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NZIGUHEBA, G. et al. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. **Plant and Soil**, v. 198, n. 2, p. 159-168, 1998.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

PIRES, A.M.M.; MATTIAZZO, M.E. Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura. Jaguariúna: Embrapa, 2008. 9p. (Circular Técnica, 19).

OECD-FAO. Organization for Economic Co-operation and Development; Food and Agriculture Organization. **Agricultural Outlook 2011–2020**. OECD/FAO, 2011. 15 p.



OLIVEIRA, F.C. et al. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 505-519, 2002.

OLIVEIRA, F A.et al. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 771-777, 2011.

OLIVEIRA, J. S. et al. Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 509-512, 2013.

RAIJ, B. van. et al. **Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 120-129, 2001.

RINALDI, R. et al. Síntese de biodiesel: Uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1374-1380, 2007.

SANTOS, H. L. dos. et al. Enxofre. **Informe Agropecuário**, v. 7, n. 81, p. 53-54, 1981.

SANTOS, J. A.; SANTOS, V. B. de.; ARAÚJO, A. S. F. de. Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 2, p. 17-23, 2009.

SANTOS, M. H. V. et al. Uso da manipueira como fonte de potássio na cultura da alface (*Lactuca sativa*, L.) cultivada em casa-de-vegetação. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 729-733, 2010.

SARMA S. J. et al. Microbial hydrogen production by bioconversion of crude glycerol: A review. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 8, p. 6473-6490, 2012.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 843-851, 2008.

SILVA, N. F. et al. Distribuição de solutos em colunas de solo com vinhaça. **Irriga**, v. 1, n. 1, especial, p. 340-350, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. d. Porto Alegre: Artmed, 2006.

VIANA, S.B.A. et al. Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 23-30, 2004.

VILLAS BOAS, R. L. et al. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 1, p. 28-34, 2004.

ZHU, J. K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 2, p. 66-71, 2001.

**PARTE 2**

**ARTIGO: ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO E GERMINAÇÃO DE PICÃO  
PRETO APÓS APLICAÇÃO DE GLICERINA BRUTA**

**Autores:** Matheus Ramos Caixeta, Saul Jorge Pinto de Carvalho, Breno Régis Santos,  
Poliana Coste e Colpa

**Artigo redigido conforme normas da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**

1 **Atividade microbiana do solo e germinação de picão preto**  
2 **após aplicação de glicerina bruta**

3  
4 Matheus Ramos Caixeta(1), Saul Jorge Pinto de Carvalho(2),  
5 Breno Régis Santos(1), Poliana Coste e Colpa(2)

6  
7 (1)Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL – MG – Programa de Pós-Graduação em  
8 Ecologia e Tecnologia Ambiental/UNIFAL-MG – Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700,  
9 Centro – 37130-000 – Alfenas – MG – Brasil – matheuscaixeta@hotmail.com,  
10 brenors@yahoo.com.br

11 (2)Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul de Minas Gerais – câmpus  
12 Machado – MG – Rodovia Machado- Paraguaçu, Km 3, Santo Antônio – 37750-000  
13 Machado – MG – Brasil – sjpcarvalho@yahoo.com.br, poliana.colpa@ifsuldeminas.edu.br

14  
15 Resumo - Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar os impactos da disposição  
16 da glicerina bruta em solo agrícola sobre a atividade microbiana e a germinação vegetal. Para  
17 a análise da atividade microbiana, um experimento foi desenvolvido em laboratório, com  
18 delineamento inteiramente casualizado e cinco tratamentos. Amostras de 100 g de solo foram  
19 incubadas por 36 dias com quatro concentrações de glicerina bruta, a saber: 0; 48,7; 146,1;  
20 292,2 L ha<sup>-1</sup>, além da ausência de solo e glicerina. Durante este período, realizaram-se 11  
21 avaliações do volume de CO<sub>2</sub> liberado, em cada amostra. Para avaliar os efeitos da glicerina  
22 bruta sobre o desenvolvimento vegetal, outro experimento foi desenvolvido em laboratório  
23 utilizando aquênios de picão preto. Foi utilizado delineamento em blocos casualizados, com  
24 cinco repetições, as mesmas concentrações de glicerina e duas origens do resíduo (laboratório  
25 e usina produtora de biodiesel). Para doses de até 143,83 L ha<sup>-1</sup>, a glicerina bruta estimulou a

26 atividade microbiana do solo, sendo indicativo positivo para estudos futuros em relação a sua  
27 aplicação em solos agrícolas. Por outro lado, as aplicações de glicerina reduziram a protrusão  
28 radicular do picão-preto, mesmo nas menores doses. Os resíduos possuem teores de  $\text{Na}^+$  que  
29 limitam sua aplicação em solos agrícolas.

30 Termos para indexação: Biodiesel, Salinização, Respiração Microbiana, Protrusão Radicular

31

32 **Soil microbial activity and germination of hairy beggarticks after**  
33 **application of crude glycerin**

34

35 Abstract – This work was carried out with the objective of evaluating the impacts of crude  
36 glycerin disposal on agricultural soil, considering microbial activity and plant germination.  
37 For microbial activity analysis, one trial was developed in laboratory, with completely  
38 randomized design and five treatments. Soil samples of 100 g were incubated through 36  
39 days with four concentrations of crude glycerin: 0, 48.7, 146.1 and 292.2  $\text{L ha}^{-1}$ , besides soil  
40 and glycerin absence. During this period, there were performed 11 evaluations of  $\text{CO}_2$  volume  
41 released for each sample. For evaluating crude glycerin effects on plant germination, another  
42 trial was carried out in laboratory using hairy beggarticks achenes. The experimental design  
43 of randomized blocks was adopted, with five replicates, the same concentrations of crude  
44 glycerin and two different origins of the residual (laboratory and biodiesel mill). For rates up  
45 to 143.83  $\text{L ha}^{-1}$ , crude glycerin stimulated soil microbial activity, being a positive indicative  
46 for further studies related to its application on agricultural areas. On the other side, glycerin  
47 application reduced hairy beggarticks root protrusion, even in the lower rates. The  
48 concentration of  $\text{Na}^+$  in the effluent compromises its application on agricultural soils.

49

50 Index terms: Biodiesel, Salinization, Microbial respiration, Root protrusion

## 51 **Introdução**

52 A demanda global por combustíveis economicamente viáveis e ambientalmente  
53 renováveis é crescente (Sarma et al., 2012). Dentre estes combustíveis destaca-se o biodiesel,  
54 sendo alternativa para a diminuição do uso de derivados do petróleo (Silva & Freitas, 2008).  
55 Estima-se que, até 2016, o mercado global de biodiesel atingirá 140 bilhões de litros, ou seja,  
56 um crescimento anual de 42% (Fan et al., 2010); e que, em 2020, a produção mundial será de  
57 159 bilhões de litros (OECD/FAO, 2011). Isso significa que cerca de 16 bilhões de litros de  
58 glicerina bruta serão gerados por ano até 2020.

59 Existem muitos usos potenciais para a glicerina, como preparo de alimentos,  
60 químicos, industriais e farmacêuticos, entretanto a demanda para estas utilizações é pequena  
61 comparada ao grande volume de glicerina a ser produzida (Cayuela et al., 2010).

62 Dentre os possíveis destinos para este resíduo, pode-se considerar o solo. No  
63 entanto, sabe-se que a adição de resíduos orgânicos ao solo pode provocar mudanças na  
64 estrutura e no funcionamento do agroecossistema, em que a comunidade microbiana é um dos  
65 componentes mais sensíveis para utilização, sendo, portanto indicadora da qualidade dos  
66 solos (Giller et al., 1998).

67 O glicerol, principal componente da glicerina bruta, exerce importante função  
68 fisiológica, sendo fonte de carbono e energia, agente crioprotetor e osmoregulador para os  
69 microrganismos (Arruda et al., 2007). Assim, diante da possibilidade de aplicar o resíduo no  
70 solo, é preciso avaliar as implicações do resíduo bruto sobre a atividade metabólica da  
71 comunidade microbiana.

72 A caracterização da atividade microbiana por meio da quantificação do CO<sub>2</sub>  
73 liberado pela respiração dos microrganismos é um critério positivo para avaliar a  
74 decomposição de resíduos orgânicos adicionados ao solo (Stotzky, 1965). Aferir a liberação  
75 de CO<sub>2</sub> do solo com resíduo orgânico em laboratório é uma metodologia segura, pois

76 possibilita avaliações em ambiente controlado em tempo relativamente curto (Cerri et al.,  
77 1994).

78 Além das implicações sobre a microbiota do solo, é necessário avaliar também  
79 os efeitos sobre o desenvolvimento vegetal, ou seja, os reflexos da aplicação sobre as plantas  
80 (Pires & Mattiazzo, 2008). Neste sentido, os problemas provocados pela presença de  
81 substâncias tóxicas são mais fáceis de detectar durante os estágios iniciais do  
82 desenvolvimento vegetal (Handreck, 1993). Diante disto propõe-se a utilização de aquênios  
83 de picão-preto (*Bidens pilosa* L.) como espécie vegetal bioindicadora.

84 A espécie *B. pilosa* possui ciclo curto, possibilitando avaliações em curto  
85 prazo, além de características anatômicas como grande deposição de fitomelanina, que  
86 protege o pericarpo, e alta densidade tricomática, baixa densidade estomática como barreiras  
87 à entradas de substâncias nocivas (Santos & Cury, 2011) permitindo avaliar a sensibilidade  
88 vegetal a aplicação do resíduo.

89 Assim sendo, este trabalho visou avaliar os impactos de diferentes  
90 concentrações de glicerina bruta em solo agrícola sobre a atividade microbiana e a  
91 germinação vegetal.

92

## 93 **Material e Métodos**

### 94 **Caracterização da glicerina bruta**

95 A glicerina bruta utilizada no experimento foi coletada na unidade de produção  
96 de biodiesel pertencente à empresa Abdiesel, situada no município de Varginha – MG. Esta  
97 unidade produz o biodiesel a partir da transesterificação homogênea de óleo de fritura com  
98 metanol, utilizando hidróxido de sódio (NaOH) como catalisador.

99 A amostragem da glicerina no dia 28 de fevereiro de 2013. Foram colhidos três  
100 frascos com 20 litros.

101 A fim de determinar as características químicas deste resíduo, três sub-  
102 amostras de cada recipiente de 20 litros foram colhidas e enviadas para o Laboratório de  
103 Análises químicas “João Carlos Pedreira de Freitas”, da Cooperativa Regional de  
104 Cafeicultores (COOXUPÉ), em Guaxupé - MG.

105 Foram realizadas análises de interesse agrônômico, determinando os teores de  
106 macro e micronutrientes, matéria orgânica, pH, umidade e condutividade elétrica conforme  
107 metodologia descrita pelo MAPA (2007). Foram analisados os teores dos metais pesados Cd,  
108 Pb, Ni, Cr, Cu e Zn, devido ao potencial tóxico desses elementos conforme EMBRAPA  
109 (2009). Analisou-se também o teor de Na por ser componente do processo produtivo do  
110 biodiesel e a Relação de Sódio Trocável pela equação:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

111

112 Em que as concentrações de Na, Ca e Mg na água foram expressas em mmolc L-1.

113 A análise dos ésteres dos ácidos graxos foi realizada por método cromatográfico  
114 EN ISO 14103 (2003). A composição química do resíduo utilizado no bioteste está  
115 apresentada na Tabela 1.

116 Com a finalidade de comparar os resultados do teste de germinação, também  
117 foi produzido o resíduo em laboratório, contendo apenas glicerol e catalisador (NaOH), pelas  
118 vias convencionais de reação entre óleo de soja refinado, etanol anidro e hidróxido de sódio  
119 (NaOH). Inicialmente, procedeu-se a dissolução da soda no etanol, à temperatura ambiente.  
120 Após completa dissolução, o líquido foi adicionado ao óleo de soja, procedendo-se a  
121 transesterificação catalítica dos triacilgliceróis. Para tanto, foram utilizados 3,6 L de óleo de  
122 soja, almejando-se resíduo de glicerina da ordem de 12%.

123 A separação das fases do biodiesel foi feita por meio de lavagem,  
124 acrescentando-se água ao líquido inicialmente homogêneo. Após identificação das fases, as



125 mesmas foram mantidas em recipiente por uma semana e, posteriormente, separadas em funil  
126 de decantação. A fase de interesse (glicerina + etanol + catalizador) foi então submetida a  
127 secagem em estufa com circulação forçada a 80°C (Ferrari et al., 2005a,b), por quatro horas,  
128 para retirada do etanol remanescente.

129

### 130 **Atividade microbiana**

131 Para este experimento, foi utilizado Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico,  
132 de textura argilosa coletado na profundidade de 0-20 cm, localizado nas coordenadas 21° 41'  
133 55,26" latitude Sul e 45° 53' 29,64" longitude Oeste de Greenwich. Após a colheita, o solo foi  
134 seco ao ar e à sombra, destorroado, peneirado em malha com abertura de 2 mm e  
135 homogeneizado. Posteriormente, foi realizada amostragem de solo em triplicata para  
136 caracterização química, de acordo com Raij et al. (2001). A caracterização físico-química do  
137 solo utilizado está apresentada na Tabela 2.

138 Foram pesados 100 g de solo, acondicionando-o em frascos de vidro  
139 hermeticamente fechados de volume de 0,5 L. A respiração basal do solo foi determinada pela  
140 quantificação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) total liberado no processo de respiração  
141 microbiana, a partir de 100 g de solo acondicionados nos vidros, durante 36 dias de incubação  
142 à temperatura de 25 °C. Cada amostra foi incubada nos frascos contendo um tubo de ensaio  
143 com 10 mL de NaOH 1 M, para captação do CO<sub>2</sub> liberado. Após os diferentes períodos de  
144 incubação, os tubos com NaOH foram retirados e receberam 10 mL de BaCl<sub>2</sub> (0,5 M) e três  
145 gotas de fenolftaleína para a titulação com HCl 0,5M padronizado. Foram feitas leituras aos 1,  
146 4, 8, 11, 15, 18, 22, 25, 29, 32, 36 dias após início da incubação. A liberação de CO<sub>2</sub> foi  
147 calculada de acordo com Stotzky (1965).

148 O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado  
149 (DIC) com cinco tratamentos a saber: três doses de glicerina bruta; 48,7; 146,1 e 292,2 L ha<sup>-1</sup>,

150 além de solo sem aplicação de resíduo e recipiente sem solo e resíduo. Cada tratamento  
151 contou com cinco repetições.

152 Para análise, foi considerado esquema de parcelas subdivididas no tempo. Os  
153 dados foram analisados por meio da aplicação do teste F na análise da variância, seguido do  
154 emprego de regressões polinomiais. Quando ao ponto máximo de emissão do CO<sub>2</sub>  
155 microbiano, foi obtido igualando-se a primeira derivada da equação de segundo grau a zero.

156

### 157 **Germinação**

158 O experimento foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes do  
159 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, câmpus  
160 Machado – MG. Foi utilizada uma amostra de 1.000 aquênios de picão-preto (*B. pilosa*),  
161 coletados em áreas agrícolas e não agrícolas do Município de Machado - MG.

162 Com base na metodologia de Carvalho et al. (2004), os testes germinativos  
163 foram instalados em câmara de germinação com controle constante de temperatura e umidade  
164 (12 horas de escuro e 12 horas de luz a temperatura constante de 25°C).

165 Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com cinco repetições.  
166 Cada bloco foi caracterizado por uma prateleira da câmara de germinação. As parcelas foram  
167 constituídas de caixas plásticas de germinação do tipo "gerbox" (0,11 x 0,11 x 0,03 m)  
168 contendo 50 sementes de *B. pilosa* e duas folhas de papel mata-borrão. O volume de solução  
169 aplicado correspondeu a duas vezes e meia a massa total do papel seco.

170 Os tratamentos foram organizados de acordo com esquema fatorial entre duas  
171 origens dos resíduos (laboratório e usina) e quatro doses de glicerina, a saber: 0; 48,7; 146,1 e  
172 292,2 L ha<sup>-1</sup>. Cada tratamento contou com cinco repetições.

173 Foi realizada a contagem do número de sementes germinadas aos 3, 5 e 7 dias  
174 após instalação (DAI). As sementes foram consideradas germinadas quanto a protrusão da  
175 radícula por meio do tegumento se tornou visível (Adegas et al., 2003; Carvalho et al., 2004).

176 Os dados foram analisados por meio da aplicação do teste F na análise da  
177 variância, seguido do uso do teste t ou do emprego de regressões.

178

## 179 **Resultados e Discussão**

### 180 **Atividade Microbiana**

181 A atividade microbiana (liberação de CO<sub>2</sub>) aumentou em modelo de parábola  
182 com o incremento das doses de glicerina bruta, atingindo máxima liberação com a aplicação  
183 da dose de 146,1 L ha<sup>-1</sup>, conforme Figura 1A. De acordo com a Figura 1A, observa-se que à  
184 medida que se aumenta a dose de resíduo no solo no intervalo de 0 a 143,83 L ha<sup>-1</sup> (p<0,01), a  
185 atividade microbiana avaliada pela emissão de CO<sub>2</sub> também aumenta. A partir de 143,83 L  
186 ha<sup>-1</sup> (ponto máximo) a atividade reduziu consideravelmente, evidenciando que existem  
187 compostos no resíduo que são tóxicos aos microrganismos quando em altas concentrações.

188 Segundo Santos et al. (2011), solos com elevados teores de sais podem limitar  
189 o desenvolvimento de plantas e microrganismos, promovendo assim a redução da população  
190 microbiana e, conseqüentemente, da atividade microbiológica. De acordo com Sardinha et al.  
191 (2003), a salinização tem forte efeito depressivo sobre a biomassa microbiana e causa  
192 mudança acentuada na estrutura da comunidade microbiana para microrganismos procariontes  
193 onde a biomassa microbiana é geralmente dominada por fungos. Além disso, a salinização  
194 tem efeitos mais fortes do que a poluição por metais pesados e é provavelmente uma das mais  
195 estressantes condições ambientais para os microrganismos do solo.

196 Foi detectada interação dos diferentes tratamentos e datas de avaliação, para  
197 liberação diária de CO<sub>2</sub>. Assim sendo, realizou-se a decomposição da análise em cada data de  
198 avaliação (Figuras 1 e 2). Logo no início das avaliações, observou-se aumento na atividade

199 microbiana, atingindo pico de respiração aos quatro dias de avaliação, sobretudo com  
200 aplicação da dose de 146,1 L ha<sup>-1</sup> (Figura 1C). Portanto, pressupõe-se que os microrganismos  
201 do solo são capazes de utilizar a glicerina bruta como fonte de carbono para sua sustentação e  
202 reprodução, aumentando a biomassa no solo (Capuani et al., 2012).

203 Contudo, a partir do quarto dia de avaliação foi verificada redução constante da  
204 respiração com o decorrer do tempo (Figuras 1D, 1E, 1F e 2). Segundo Capuani et al. (2012),  
205 a energia contida nos carbonos é mineralizada, fato correspondente a redução da respiração  
206 microbiológica. Martines et al. (2006) relataram diminuição da respiração após certo período  
207 de tempo em solo sob influência do resíduo de lodo de curtume. Silva et al. (2006), também  
208 verificaram maior emissão de CO<sub>2</sub> nas primeiras avaliações, decrescendo posteriormente.

209 O segundo aumento respiração foi observado nas Figuras 2E e 2F, e pode estar  
210 relacionado aos possíveis microrganismos mortos com o decorrer do tempo, pois suas células  
211 também servem como substrato para microrganismos vivos, uma vez que as paredes celulares  
212 dos fungos compostas por celulose, quitina e quitosana podem ser degradadas. As paredes  
213 celulares das bactérias também são utilizadas como substrato (Wagner & Wolf, 1999).

214 Mesmo com a alta relação C/N do resíduo, em média 214, a atividade  
215 microbiana aumentou. Este fato foi decorrente do glicerol, principal componente da glicerina  
216 bruta, exercer importante função fisiológica, sendo fonte de carbono e energia, agente  
217 crioprotetor e osmoregulador para os microrganismos (Arruda et al., 2007). Segundo Dillis et  
218 al. (1980), o glicerol é considerado fonte de carbono muito reduzida e assimilável por  
219 bactérias e leveduras tanto em condições aeróbicas como anaeróbicas, com a finalidade de se  
220 obter energia metabólica e reciclagem de fosfato inorgânico intracelular.

221 Alguns estudos foram desenvolvidos a fim de utilizar o glicerol como fonte de  
222 carbono por microrganismos, especialmente por bactérias. Ito et al. (2005) e Papanikolaou et  
223 al. (2008), respectivamente, verificaram que é possível produzir etanol e hidrogênio por

224 *Enterobacter aerogenes* HU-101 e ácido cítrico e por *Yarrowia lypolitica.*, utilizando  
225 glicerina bruta do biodiesel por meio do processo de fermentação.

226 Para facilitar a decomposição do material, é possível que tenha ocorrido  
227 imobilização do nitrogênio do solo, de modo a atenuar a elevada relação C/N. Em termos  
228 agrícolas, tal imobilização pode prejudicar o estabelecimento inicial de culturas, porém ativa  
229 sobremaneira a atividade microbiana (Vargas et al., 2005).

230

### 231 **Germinação**

232 Na presença de glicerina bruta, em todas as doses, houve redução na  
233 germinação de aquênios de picão preto (protrusão radicular), conforme observado na Figura  
234 3. Foi ajustado o modelo não linear  $y = -4,391\ln(x) + 32,752$  que alcançou  $R^2 = 0,9041$ , ou  
235 seja, 90,41% da variabilidade da protrusão radicular é explicada pelo modelo. A medida que  
236 aumenta-se a dose de glicerina bruta até 292,2 L ha<sup>-1</sup> a porcentagem de germinação de  
237 aquênios de picão preto diminui em taxa logarítmica de 4,39 ( $p < 0,05$ ).

238 Verificou-se pelo Teste t que não existe diferença entre os resíduos (laboratório  
239 e usina) sobre a protrusão radicular vegetal, implicando que os efeitos indesejáveis  
240 acarretados pela aplicação estão vinculados a ambos resíduos. Verificando a composição  
241 química da glicerina bruta constata-se que o principal componente que afetou negativamente a  
242 germinação do picão preto foi a concentração de Na<sup>+</sup>, pois está presente em altas quantidades  
243 nos resíduos, por ser componente do processo de fabricação, como catalisador da reação.

244 Alguns autores constataram que a salinidade afeta negativamente a germinação  
245 de sementes. Callegari et al. (2001) verificaram que embora a alface seja considerada  
246 moderadamente tolerante à salinidade, houve redução na germinação das sementes elevando a  
247 condutividade elétrica no substrato de 3,79 a 10,14 dS m<sup>-1</sup>. Andréo-Souza et al. (2010)  
248 observaram redução na germinação em sementes de pinhão-manso quando submetidas ao

249 estresse salino na fase de embebição. Gordin et al. (2012) concluíram que a exposição de  
250 sementes de niger ao NaCl, KCl e CaCl<sub>2</sub> reduz o poder germinativo e o crescimento das  
251 plântulas.

252 Fatalmente, o principal íon relacionado ao estresse salino nesta pesquisa que  
253 contribuiu para queda na porcentagem de germinação foi o Na<sup>+</sup>. Segundo Gordin et al. (2012)  
254 o estresse salino nas fases iniciais da germinação tem como principal determinante de injúrias  
255 o desequilíbrio dos íons e a toxicidade causada pelo excesso de Na<sup>+</sup>. O resíduo possui  
256 quantidade de sódio de 10,07 g kg<sup>-1</sup>, ou seja, aproximadamente 1% de sua composição é deste  
257 elemento. Além disto, a condutividade elétrica do resíduo é de 8,75 dS m<sup>-1</sup>, níveis elevados  
258 que prejudicam o desenvolvimento vegetal.

259 Segundo Lopes e Macedo (2008), a elevada concentração de sais no substrato  
260 reduz seu potencial hídrico, resultando em menor capacidade de absorção de água pelas  
261 sementes, conseqüentemente menor capacidade de germinação. A disponibilidade de água é  
262 um fator limitante para as fases iniciais do estabelecimento do picão preto e a diminuição do  
263 potencial hídrico do substrato acarretou na diminuição da germinação.

264

## 265 **Conclusões**

- 266 1. A glicerina bruta promove aumento na atividade microbiana, sendo indicativo positivo  
267 para estudos em relação a sua aplicação em solos agrícolas.
- 268 2. As aplicações de glicerina bruta são prejudiciais à germinação de sementes de *B.*  
269 *pilosa*. Esta inibição é observada mesmo nas menores doses.
- 270 3. As aplicações reduzem a protrusão radicular provocada principalmente pelo aumento  
271 da salinidade do meio.
- 272 4. O resíduo possui teores de Na<sup>+</sup> que limitam sua aplicação em solos agrícolas.

273

## **Agradecimentos**

274 Ao Instituto Federal do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, câmpus Machado - MG,  
275 pela disponibilidade de infraestrutura; À COOXUPÉ, pelo grande auxílio nas análises; À  
276 indústria ABDIESEL, pelo fornecimento dos resíduos.

277

## 278 Referências

279 ADEGAS, F. S.; VOLL, E.; PRETE, C. E. C. Embebição e germinação de sementes de picão-  
280 preto (*Bidens pilosa* L.). **Planta Daninha**, v.21, p.21-25, 2003.

281

282 ANDRÉO-SOUZA, Y.; PEREIRA, A. L.; SILVA, F. F. S.; RIBEIRO-REIS, R. C.;  
283 EVANGELISTA, M. R. V.; CASTRO, R. D.; DANTAS, B. F. Efeito da salinidade na  
284 germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso. **Revista**  
285 **Brasileira de Sementes**, v.32, p.83-92, 2010.

286

287 ARRUDA, P. V.; RODRIGUES, R. C. L. B.; FELIPE, M. G. A. Glicerol: um subproduto  
288 com grande capacidade industrial e metabólica. **Revista Analytica**, v.1, p. 56-62, 2007.

289

290 CAPUANI, S.; RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. M. de.; BRITO NETO, J. F. de. Atividade  
291 microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista**  
292 **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.1269-1274, 2012.

293

294 CALLEGARI, O.; SANTOS, H.S.; SCAPIM, C.A. Variações do ambiente e de práticas  
295 culturais na formação de mudas e na produtividade da alface (*Lactuca sativa* L. cv. Elisa).  
296 **Acta Scientiarum**, v.23, p.1117-1122, 2001.

297

298 CARVALHO, S.J.P.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. MOYSÉS, T.C.; CHAMMA, H.M.C.P.;  
299 CHRISTOFFOLETI, P.J. Identificação de biótipos de *Bidens* spp. resistentes aos inibidores  
300 da ALS através de teste germinativo. **Planta daninha**, v.22, p. 411-417, 2004.

301

302 CAYUELA, M.L., OENEMA, O., KUIKMAN, P.J., BAKKER, R.R. Bioenergy by-products  
303 as soil amendments? Implications for carbon sequestration and greenhouse gas emissions.  
304 **GCB Bioenergy**, v.2, p. 201-213, 2010.

305

- 306 CERRI, C.C.; ANDREUX, F.; EDUARDO, B.P. Incubador para estudos sobre decomposição  
307 de material orgânico no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.1-5, 1994.  
308
- 309 DILLIS, S.S.; APPERSON, A.; SCHMIDT, M.R.; SAIER, M.H. Carbohydrate transport in  
310 bacteria. **Microbiology Reviews**, v.44, p.385-418, 1980.  
311
- 312 EMBRAPA. Embrapa Solos. Manual de análise química dos solos, plantas e fertilizantes.  
313 Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Embrapa Solos, 2009. 627p.  
314
- 315 EN 14103:2003; **Fat and oil derivatives. Fatty Acid Methyl Esters (FAME).**  
316 **Determination of ester and linolenic acid methyl esters content**, 2003.  
317
- 318 FAN, X., BURTON, R., ZHOU, Y. Glycerol (byproduct of biodiesel production) as a  
319 source for fuels and chemicals— Mini Review. *Open Fuels Energy Science Journal*, v.3, p.  
320 17-22, 2010.  
321
- 322 FERRARI, R.A.; OLIVEIRA, V.S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – taxa de conversão em  
323 ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química**  
324 **Nova**, v.28, p.19-23, 2005a.  
325
- 326 FERRARI, R.A.; OLIVEIRA, V.S.; SCABIO, A. Oxidative stability of biodiesel from  
327 soybean oil fatty acid ethyl esters. **Scientia Agricola**, v.62, p.291-195, 2005b.  
328
- 329 GILLER, K.E.; WITTER, E.; MCGNATH, S.P. Toxicity of heavy metals to microorganisms  
330 and microbial processes in agriculture soils: A review. **Soil Biology Biochemistry**, v.30,  
331 p.1389-1414, 1998.  
332
- 333 GORDIN, C. R. B.; MARQUES, R. F; MASETTO, T. E.;SOUZA, L. C. F. de. Estresse  
334 salino na germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de niger (*Guizotia*  
335 *abyssinica* (L.f.) Cass.). **Acta Botanica Brasilica**, v.26, p.966-972, 2012.  
336
- 337 HANDRECK, K. A. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting  
338 media. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.24, p.349-363, 1993.  
339



- 340 ITO, T.; NAKASHIMADA, Y.; SENBA, K.; MATSUI, T.; NISHIO, M. Hydrogen and  
341 Ethanol Production from Glycerol-Containing Wastes Discharged after Biodiesel  
342 Manufacturing Process. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 100, p. 260-265,  
343 2005.  
344
- 345 LOPES, J.C. ; MACEDO, C.M.P. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência  
346 do teor de água, substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, p. 79-85,  
347 2008.  
348
- 349 MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Manual de métodos**  
350 **analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**.  
351 Brasília. 141 p. 2007.  
352
- 353 MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. Mineralização do carbono  
354 orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41,  
355 p.1149-1155, 2006.  
356
- 357 OECD-FAO. Organization for Economic Co-operation and Development; Food and  
358 Agriculture Organization. **Agricultural Outlook 2011–2020**. OECD/FAO, 2011. 15 p.  
359
- 360 PAPANIKOLAOU, S.; STYLIANOS, F.; FICK, M.; CHEVALOT, I.; GALIOTOU-  
361 PANAYOTOU, M.; KOMAITIS, M.; MARC, I.; AGGELIS, G. Biotechnological  
362 valorization of raw glycerol discharged after bio-diesel (fatty acid methyl esters)  
363 manufacturing process: Production of 1,3-propanediol, citric acid and single cell oil. **Biomass**  
364 **and Bioenergy**, v.32, p.60-71, 2008.  
365
- 366 PIRES, A.M.M.; MATTIAZZO, M.E. **Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na**  
367 **agricultura**. Jaguariúna: Embrapa, 2008. 9p. (Circular Técnica, 19).  
368
- 369 RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análises químicas**  
370 **para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de  
371 Campinas, 2001. 285p.  
372

- 373 SANTOS, J.B; CURY, J.P. Picão-preto: uma planta daninha especial em solos  
374 tropicais. **Planta daninha** , v. 29, p.1159-1171, 2011.  
375
- 376 SANTOS, K. C. F. dos.; SILVA, M. S. L. da.; SILVA L. E. da.; MIRANDA, M. A. FREIRE,  
377 M. B. G. S. dos. Atividade biológica em solo salino sódio saturado por água sob cultivo de  
378 *Atriplex numulária*. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.619-627, 2011.  
379
- 380 SARDINHA, M., MULLER, T.; SCHMEISKY, H.; JOERGENSEN, R. G. Microbial  
381 performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. **Applied Soil Ecology**,  
382 v. 23, p.237-244, 2003.  
383
- 384 SILVA, G. A.; SOUTO, J. S.; ARAÚJO, J. L. Atividade microbiana em Luvisolo do semi-  
385 árido da Paraíba após a incorporação de resíduos vegetais. **Revista Agropecuária Técnica**,  
386 v.27, p.13-20, 2006.  
387
- 388 SARMA S. J., BRAR S. K., SYDNEY E. B., BIHAN Y. L., BUELNA G, SOCCOL C.R.  
389 Microbial hydrogen production by bioconversion of crude glycerol: A review. **International**  
390 **Journal of Hydrogen Energy**, v.37, n.8, p.6473–6490, 2012.  
391
- 392 SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível.  
393 **Ciência Rural**, v. 38, p.843-851, 2008.  
394
- 395 STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. (Ed). **Methods of soil analysis**.  
396 Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.1551-1572.  
397
- 398 VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado  
399 com milho em sucessão à aveia-preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência**  
400 **Rural**, v.35, p.76-83, 2005.  
401
- 402 WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In:  
403 SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and**  
404 **applications of soil microbiology**. Prentice Hall, p. 218-256, 1999.  
405  
406

407

408 **Tabela 1.** Características físicas e químicas da glicerina bruta utilizada neste estudo\*.

<b>Componente</b>	<b>Análise*</b>	<b>Componente</b>	<b>Análise*</b>
Nitrogênio total (%)	0,11	Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	1,60
pH	8,71	Cádmio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,02
Umidade (%)	0,72	Cromo (mg kg <sup>-1</sup> )	0,51
Carbono orgânico (%)	22	Chumbo (mg kg <sup>-1</sup> )	0,10
Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	0,46	Molibdênio (mg kg <sup>-1</sup> )	0,14
Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	0,10	Níquel (mg kg <sup>-1</sup> )	0,33
Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	1,64	Densidade (g ml <sup>-1</sup> )	1,01
Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	0,04	Relação C/N	214,35
Sódio (g kg <sup>-1</sup> )	10,70	Matéria Orgânica (%)	41,03
Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )	0,02	Condutividade elétrica d sm m <sup>-1</sup>	8,75
Boro (mg kg <sup>-1</sup> )	1,78	Éster metílico (%)	35,5
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	0,78	Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	37,21
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	33,25		
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	1,92		

409

\*Médias das 9 subamostras retiradas

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425 **Tabela 2.** Caracterização química do solo utilizado no experimento.

Parâmetro	Unidade	Resultado
pH		5,3
Matéria orgânica	g kg <sup>-1</sup>	19,5
Fósforo	mg dm <sup>-3</sup>	36,3
Potássio	mg dm <sup>-3</sup>	133
Cálcio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	24,5
Magnésio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,1
Alumínio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	36
Saturação em alumínio (m)	%	3,0
Soma de Bases (S.B)	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	35
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	71
Saturação por bases (V)	%	49
Areia total	g dm <sup>-3</sup>	470
Argila	g dm <sup>-3</sup>	400
Silte	g dm <sup>-3</sup>	130
Textura		Argilosa

426 \* Média das 3 amostras analisadas

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

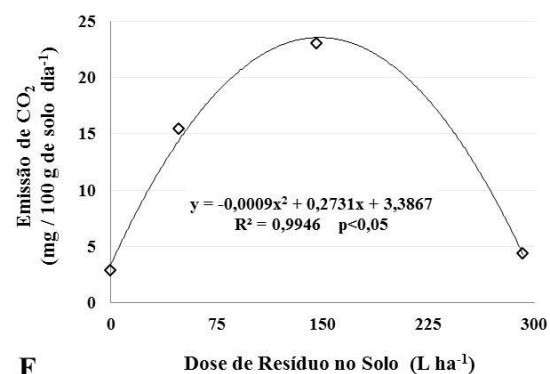
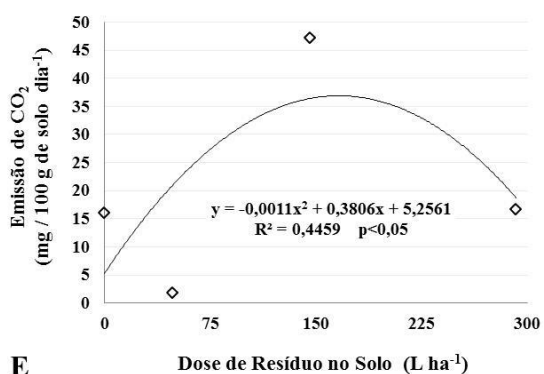
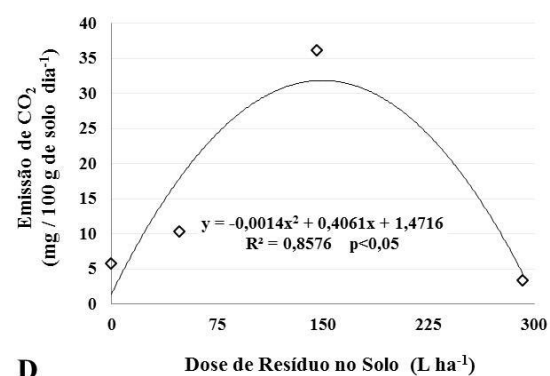
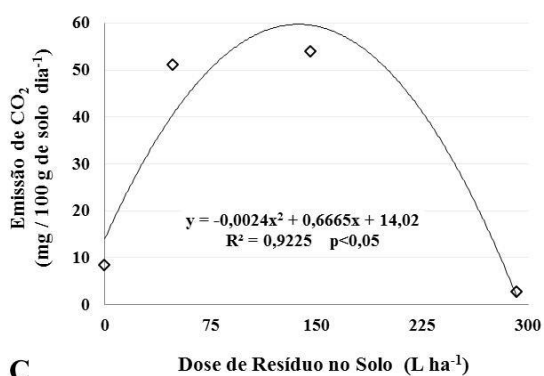
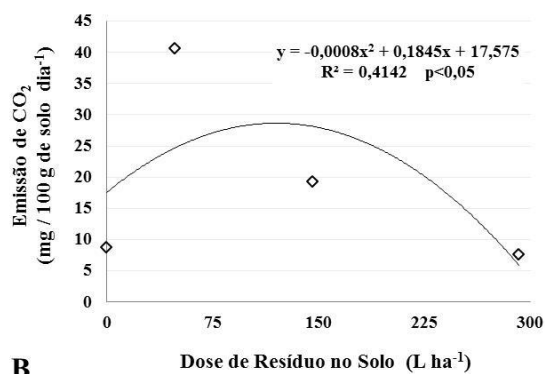
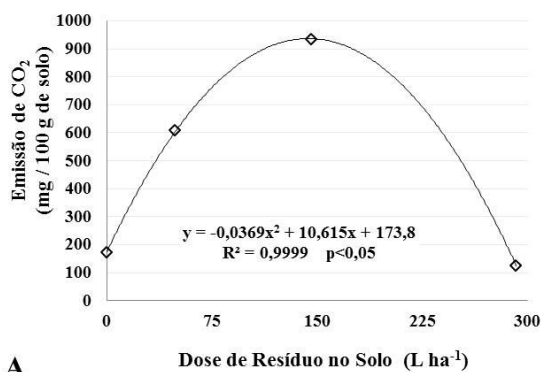
438

439

440

441

442



443

444

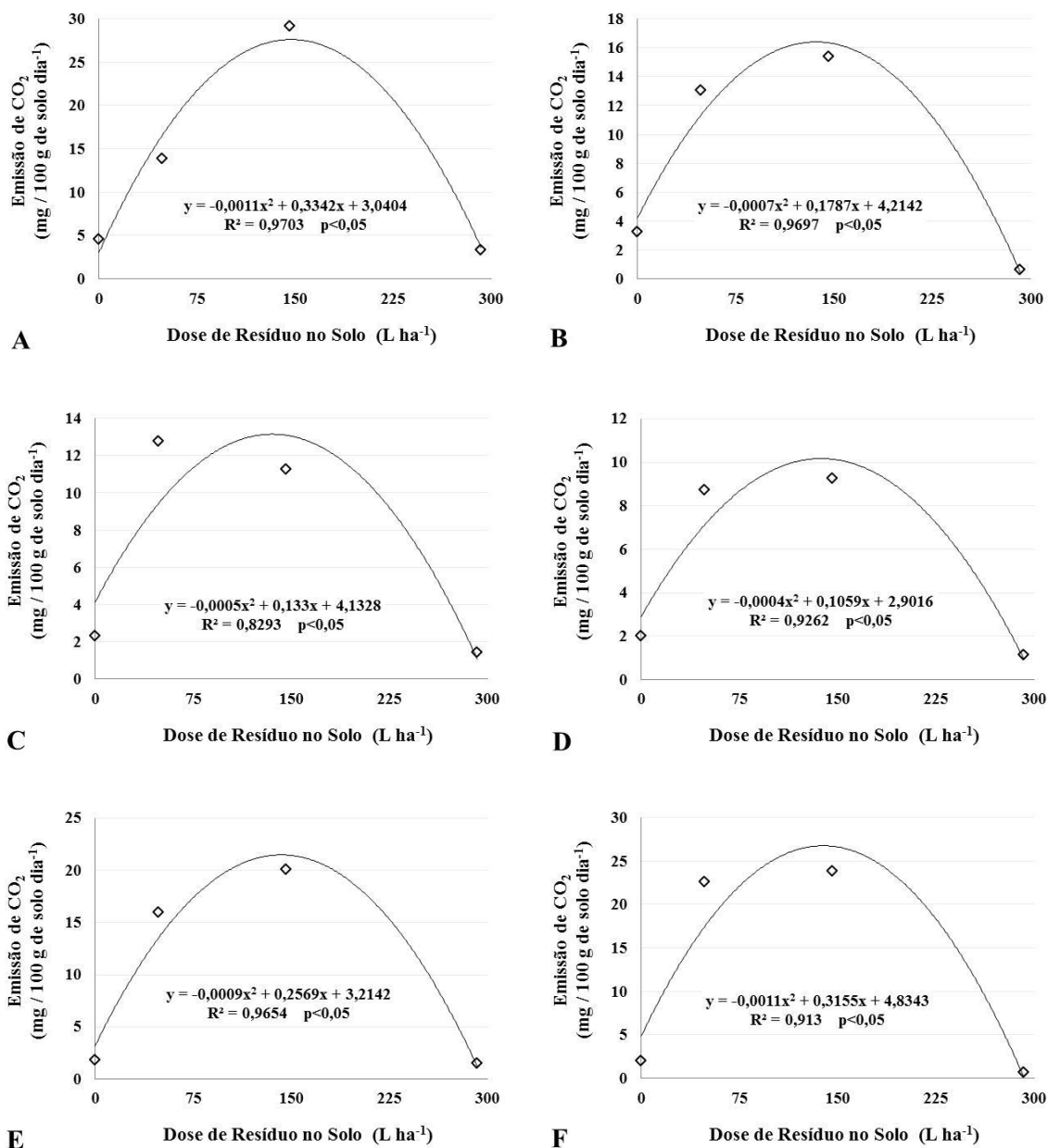
445

446 **Figura 1.** Liberação de gás carbônico após adição de diferentes doses do resíduo da produção  
 447 de biodiesel, em diferentes datas de avaliação. A - Acumulado após 36 dias; B - Avaliação  
 448 após 24 horas; C - Avaliação após quatro dias; D - Avaliação após oito dias; E - Avaliação  
 449 após 11 dias; F - Avaliação após 15 dias. Machado, 2013

450

451

452



453

454

455

456 **Figura 2.** Liberação de gás carbônico ( $\text{mg CO}_2 / 100 \text{ g solo dia}^{-1}$ ) após adição de diferentes  
 457 doses do resíduo da produção de biodiesel, em diferentes datas de avaliação. A - Avaliação  
 458 após 18 dias; B - Avaliação após 22 dias; C - Avaliação após 25 dias; D - Avaliação após 29  
 459 dias; E - Avaliação após 32 dias; F - Avaliação após 36 dias. Machado, 2013

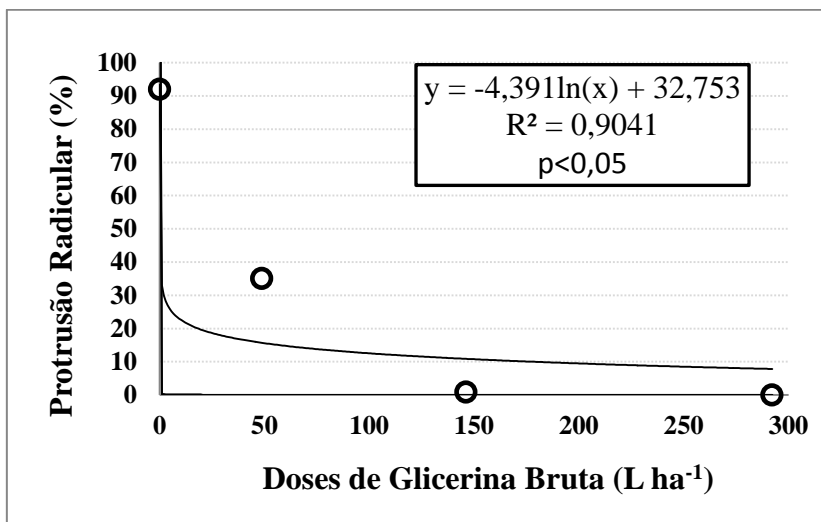
460

461

462

463

464



465

466 **Figura 3.** Modelo de regressão não-linear que correlaciona as doses de glicerina bruta e a  
467 porcentagem de protrusão radicular de aquênios de picão preto. Machado, 2013

## CONCLUSÃO GERAL

A glicerina bruta pode se tornar um importante recurso para a agricultura devido às melhorias provocadas no solo, tanto no aspecto químico quanto microbiológico. Contudo, ainda não é recomendada a aplicação deste resíduo devido ao alto teor de sódio, responsável pela salinização do solo e conseqüente prejuízo ao desenvolvimento vegetal. Recomendam-se estudos futuros utilizando espécies halófitas, além de glicerina bruta proveniente da produção de biodiesel em que se utiliza o hidróxido de potássio como catalisador, em substituição ao hidróxido de sódio.