

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL DE LODO DE ESGOTO E
BIOESTIMULANTE NA CANA-DE-AÇÚCAR

EMMERSON RODRIGUES DE MORAES

UBERLÂNDIA
2017

EMMERSON RODRIGUES DE MORAES

APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL DE LODO DE ESGOTO E
BIOESTIMULANTE NA CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof.^a. Dr.^a. Regina Maria Quintão Lana

Co-orientador

Prof. Dr. Reginaldo de Camargo

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M827a 2017 Moraes, Emmerson Rodrigues de, 1984
Aplicação de fertilizante organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante na cana-de-açúcar / Emmerson Rodrigues de Moraes. - 2017.
84 f. : il.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.
Coorientador: Reginaldo de Camargo.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.63>
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Cana-de-açúcar - Adubação - Teses. 3. Adubação - Teses. 4. Adubos e fertilizantes - Teses. I. Lana, Regina Maria Quintão. II. Camargo, Reginaldo de. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

EMMERSON RODRIGUES DE MORAES

APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL DE LODO DE ESGOTO E
BIOESTIMULANTE NA CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Agronomia – Doutorado, área
de concentração em fitotecnia, para obtenção do
título de “Doutor”.

APROVADO em 08 de dezembro de 2017.

Prof. Dr. Reginaldo de Camargo (co-orientador)	UFU
Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira	UFU
Prof. Dr. Adilson Pelá	UEG
Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira	UEG


Prof^ª. Dr.^a. Regina Maria Quintão Lana
ICIAG-UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

OFEREÇO

Aos meus pais, Aréδιο (*in memorian*) e Sênis, a minha querida esposa Joicy e meus irmãos Márcia, Sinomar e Marcelo com muito amor, gratidão e respeito.

Ao meu pai Aréδιο Rodrigues de Moraes, pelo amor, carinho, ensinamentos, o grande esforço e empenho para minha formação.

(In memorian)

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar-me e abençoar constantemente.

A Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade e suporte oferecidos.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos por acreditar em meu trabalho.

A Professora Dr^a. Regina, pela orientação e ensinamentos, amizade, incentivo e contribuição para meu crescimento profissional.

Aos amigos e alunos Felipe, Matheus Medeiros, Mateus Ferreira, Fernando, Eduardo, Israel, Ruan, Vinícius, Aysha, Suellen e Juliana, pela amizade, ajuda, comprometimento e dedicação para que esse trabalho fosse realizado.

Ao meu co-orientador Professor Dr. Reginaldo de Camargo e o Professor Dr. José Geraldo Mageste, pelos ensinamentos, amizade, incentivo e contribuição durante esses anos.

Aos amigos professores e servidores do Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos, pela agradável convivência de juntos estarmos contribuindo com o ensino, pesquisa e extensão.

A usina Vale do Tijuco, pela oportunidade de realizar o experimento e seus funcionários, especialmente a Robson e sua equipe de pesquisa, que tanto contribuíram de forma eficiente para desenvolver o trabalho.

Aos funcionários do LABAS, Angélica, Manuel, Marinho, Gilda e Eduardo, pela amizade e ensinamentos.

Aos amigos e colegas da pós-graduação e todos os professores e servidores da UFU presentes durante meus estudos, pela amizade e ensinamentos.

Ao CNPq pela concessão de bolsas de estudos e pelo financiamento de projeto.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
CAPÍTULO 1 - Cana-de-açúcar: bioestimulantes e organomineral de lodo de esgoto..	1
1 INTRODUÇÃO.....	2
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 A cultura da cana-de-açúcar.....	6
2.2 Bioestimulantes vegetais.....	8
2.2.1 Auxinas.....	9
2.2.2 Cinetina.....	9
2.2.3 Giberelina.....	10
2.2.4 Interação auxina, cinetina e giberelina.....	10
2.3 Uso de lodo de esgoto na agricultura.....	11
2.4 Fertilizantes organominerais - FOMs.....	13
REFERÊNCIAS.....	16
CAPÍTULO 2 - Cana-de-açúcar: fertilizante organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante.....	22
1 INTRODUÇÃO.....	23
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.1 Experimento em LVAd.....	26
2.2 Experimento em LAd.....	28
2.3 Produção do organomineral.....	30
2.4 Delineamento experimental.....	33
2.5 As avaliações.....	33
2.5.1 Crescimento e desenvolvimento.....	33
2.5.2 Biometria e rendimento.....	35
2.5.3 Qualidade do caldo.....	35
2.6 Análise estatística.....	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37

3.1. Crescimento e desenvolvimento.....	37
3.1.1 Perfilhamento.....	37
3.1.2 Cobertura vegetal.....	39
3.1.3 Área foliar.....	41
3.1.4 Diâmetro de colmo.....	43
3.1.5 Altura da planta.....	44
3.1.6 Efeito de doses de FOM.....	46
3.1.7 Comparativo entre LVAd e LAd.....	48
3.2 Biometria e rendimento.....	51
3.2.1 Estudo da área de LVAd.....	51
3.2.2 Estudo da área de LAd.....	52
3.2.3 Efeito de doses de FOM.....	54
3.2.4 Comparativo entre LVAd e LAd.....	56
3.3 Qualidade do caldo.....	58
3.3.1 Estudo dos resultados do LVAd.....	58
3.3.2 Estudo da área de LAd.....	60
3.3.3 Efeito de doses de FOM.....	62
3.3.4 Comparativo entre LVAd e LAd.....	63
4 CONCLUSÕES.....	66
AGRADECIMENTOS.....	66
REFERÊNCIAS.....	67

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1	Caracterização química antes da instalação do experimento, LVAd de Morrinhos - GO..... 26
Tabela 2	Caracterização química antes da instalação do experimento, LAd de Prata - MG..... 29
Tabela 3	Caracterização química do biossólido na Base Seca a 110°C..... 31
Tabela 4	Perfilhamento da cana-de-açúcar por metro linear em cinco épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência de bioestimulante e FM em LVAd e LAd..... 38
Tabela 5	Cobertura vegetal (%) da cana-de-açúcar sobre o solo em cinco épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd..... 40
Tabela 6	Área foliar da planta (cm ²) de cana-de-açúcar em quatro épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd..... 42
Tabela 7	Diâmetro (mm) de plantas de cana-de-açúcar em quatro épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd..... 43
Tabela 8	Altura de plantas (cm) de cana-de-açúcar durante quatro épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd..... 45
Tabela 9	Perfilhamento, cobertura vegetal, área foliar, diâmetro e altura de plantas de cana-de-açúcar cultivada em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd aos 150 DAP..... 50
Tabela 10	Produtividade, altura, diâmetro de colmo e número de colmo em função do percentual de adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd..... 52

Tabela 11	Produtividade, altura, diâmetro e número de colmo em função do percentual de adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LAd.....	53
Tabela 12	Produtividade, altura, diâmetro e número de colmo de plantas de cana-de-açúcar em função do percentual de adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd.....	57
Tabela 13	Pureza, fibra, Brix, ATR, TPH e etanol da cana-de-açúcar em função do percentual da adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto e FM em LVAd com e sem bioestimulante.....	59
Tabela 14	Pureza, fibra, Brix, ATR, TPH e litros etanol da cana-de-açúcar em função do percentual da adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LAd..	61
Tabela 15	Pureza, Fibra,Brix, ATR, TPH e Litros Etanol da cana-de-açúcar em função do percentual da dose de adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LAd e LVAd.....	65

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Média da precipitação (mm) e temperatura (°C) da área experimental durante o ciclo da cultura na safra 2015/2016.....	26
Figura 2	Roçagem da <i>Crotalaria juncea</i> aos 90 dias após semeio em intenso florescimento.....	27
Figura 3	Abertura de sulco para plantio das mudas.....	28
Figura 4	Média da precipitação (mm) e temperatura (°C) da área experimental durante o ciclo da cultura na safra 2015/2016.....	28
Figura 5	Sulcador utilizado para abertura de sulcos (A); sulcos para plantio das mudas de cana-de-açúcar (B).....	30
Figura 6	Processo de eliminação de patógenos do lodo de esgoto. Resíduo sólido centrifugado (A); tratamento com cal hidratada (B); exposição a raios ultra violetas (C) e secagem ao ar livre (D).....	31
Figura 7	Composição do fertilizante organomineral: bio sólido (escuro), uréia (rósea), cloreto de potássio (vermelho) e ácido bórico (branco).	32
Figura 8	Inoculação de bioestimulante sobre mudas de cana-de-açúcar.....	33
Figura 9	Fotografia capturada a 1,5 m de altura da sobre gabarito de 1,0 x 1,5 m (A); fotografia analisada pelo software SisCob v1.0.....	34
Figura 10	Pesagem do feixe de cana com dinamômetro de capacidade de pesagem máxima de 2000 kg e mínima de 0,2 kg.....	35
Figura 11	Modelos de regressão ajustados a 0.05, para área foliar (A - sem e B - com), cobertura vegetal (C - sem e D - com), altura de plantas (E - sem e F - com), perfilhamento (G - sem e H - com) e diâmetro de colmo (I - sem e J - com) em função de doses de organomineral a base de bio sólido com e sem bioestimulante em LAd aos 150 DAP. (“...continua...”.....	48
Figura 12	Modelos de regressão ajustados a 0.05, para produtividade, altura, e número de colmo em função de doses de FOM a base de bio sólido com e sem bioestimulante em área de LAd.....	55
Figura 13	Modelos de regressão ajustados a 0,05 de significância, para produtividade de Pol (TPH) em função de doses de FOM de lodo de esgoto com e sem bioestimulante em LAd.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CT	Carbono Total
cm	Centímetros
DAP	Dias Após Plantio
g	Gramas
ha	Hectare
L	Litros
Mn	Manganês
M	Metros
m ²	Metros quadrado
mm	Milímetros
MG	Minas Gerais
MOT	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
N.T.	Nitrogênio Total
%	Porcentagem
P	Probabilidade
RMT	Resíduo Mineral Total
Kg	Quilogramas
T	Tonelada
UEG	Universidade Estadual de Goiás
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UT	Umidade Total

RESUMO

MORAES, E. R. **Aplicação de fertilizante organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante na cana-de-açúcar**. 2017. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia – MG, 2017.¹

O Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), tendo esta cultura grande importância para o agronegócio brasileiro. É a principal matéria prima para a produção de etanol, uma vez que gera energia limpa e renovável. O objetivo foi apontar a utilização de fertilizante organomineral (FOM) e bioestimulantes e avaliar o desenvolvimento inicial e final, rendimento na colheita e a qualidade tecnológica do caldo da cana-de-açúcar adubada com fertilizante organomineral a base de lodo de esgoto interagindo com bioestimulante em regiões de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) com maior fertilidade e Latossolo Amarelo distrófico (LAd) de menor fertilidade. Os experimentos foram realizados em LVAd no Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos - GO com recomendação de adubação de plantio de 470 kg ha⁻¹ da formulação 04-21-07 e cobertura de 400 kg ha⁻¹ da formulação 07-00-28 + 0,7% de B e LAd na Usina Vale do Tijuco, situado no Rio do Peixe, distrito de Prata - MG com recomendação de adubação de plantio de 570 kg ha⁻¹ da formulação 04-21-07 e cobertura de 570 kg ha⁻¹ da formulação 07-00-28 + 0,7% de B. Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 2 + 1, sendo cinco doses (0, 60, 80, 100 e 120 % da recomendação de plantio e cobertura) com e sem bioestimulante, mais um adicional (100 % de fertilizante mineral (FM)) em quatro repetições. Foi utilizado bioestimulante Stimulate (0,09 g dm⁻³ de citocinina, 0,05 g dm⁻³ de auxina e 0,05 g dm⁻³ de giberelina). Em LAd, o aumento dos percentuais da adubação favorece e incrementa o desenvolvimento inicial, rendimento de colmo, caracteres biométricos e produtividade de açúcar sem e com bioestimulante. O uso de bioestimulantes não contribuiu para o desenvolvimento inicial da cultura, biometria e rendimento de colmo, porém, aumenta o acúmulo de ATR em 1,74 %. Em LVAd, o aumento dos percentuais da adubação são similares na qualidade do caldo, biometria, rendimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar. O uso de bioestimulantes incrementa resultados no desenvolvimento inicial da cultura, rendimento de colmo, caracteres biométricos e a produtividade de açúcar do caldo da cana. Em ambos os ambientes a adubação com FOM a base de biossólido é semelhante à adubação com FM. Em LVAd há maior produção de açúcares e melhor qualidade do caldo da cana. O uso de FOM e bioestimulante são alternativas para a fertilização sustentável do solo e ciclagem de nutrientes na cultura da cana-de-açúcar.

Palavras-chaves: Adubação. Biorreguladores. Hormônios vegetais. Fertilizantes. Ciclagem de nutrientes.

¹Orientador: Regina Maria Quintão Lana - UFU

¹Co-orientador: Reginaldo de Camargo - UFU

ABSTRACT

MORAES, E. R. **Application of organomineral fertilizer of sewage sludge and biostimulant in sugarcane.**2017. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia,2017.¹

Brazil is the main world producer of sugarcane (*Saccharum spp.*), and this crop is of great importance for Brazilian agribusiness. It is the main raw material for the production of ethanol, since it generates clean and renewable energy. The objective was to indicate the use of organomineral fertilizer (FOM) and biostimulants and to evaluate the initial and final development, crop yield and the technological quality of the sugarcane juice fertilized with organomineral fertilizer based on sewage sludge interacting with biostimulant (LVAd) with higher fertility and Dystrophic Yellow Latosol (LAd) of lower fertility. The experiments were carried out in LVAd at the Goiano Federal Institute - Campus Morrinhos - GO, with fertilization recommendation of 470 kg ha⁻¹ of formulation 04-21-07 and coverage of 400 kg ha⁻¹ of formulation 07-00-28 + 0.7% of B and LAd in the Vale do Tijuco Plant, located in Rio do Peixe, Prata - MG district, with fertilization recommendation of 570 kg ha⁻¹ of formulation 04-21-07 and coverage of 570 kg ha⁻¹ of formulation 07-00-28 + 0.7% of B. The experimental design was randomized blocks in a 5 x 2 +1 factorial scheme, five doses (0, 60, 80, 100 and 120% of planting recommendation and cover) with and without biostimulant plus one additional (100% mineral fertilizer (FM)) in four replicates. Stimulate biostimulant (0.09 g dm⁻³ of cytokinin, 0.05 g dm⁻³ of auxin and 0.05 g dm⁻³ of gibberellin) was used. In LAd, the increase of the percentages of the fertilization favors and increases the initial development, yield of stem, biometric characters and sugar productivity without and with biostimulant. The use of biostimulants does not contribute to the initial development of the crop, biometry and yield of stem, however, increases the accumulation of ATR in 1.74%. In LVAd, the increase in fertilization percentages are similar in broth quality, biometrics, yield and the development of sugarcane. The use of biostimulants increases results in the initial development of the crop, yield of stem, biometric characters and sugar yield of sugarcane juice. In both environments the fertilization with FOM the base of biosolid is similar to fertilization with FM. In LVAd there is higher production of sugars and better quality of the sugarcane juice. The use of FOM and biostimulant are alternatives for the sustainable fertilization of the soil and cycling of nutrients in the sugarcane crop.

Keywords: Fertilization.Bioregulators.Plant hormones.Fertilizers.Nutrient cycling.

¹Advisor: Regina Maria Quintão Lana - UFU

¹Co-advisor: Reginaldo de Camargo - UFU

CAPÍTULO 1

Cana-de-açúcar: bioestimulantes e organomineral de lodo de esgoto

1INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma espécie vegetal semi-perene, pertencente à família Poaceae. De origem asiática e de características de clima tropical, encontrou condições ideais para o seu desenvolvimento em extensas áreas do Brasil. Apresenta-se como importante cultura fornecendo não só alimentos, mas energia renovável (BRUNINI, 2010).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), tornando-se de grande importância para o agronegócio brasileiro. A produção de cana-de-açúcar, estimada para a safra 2017/18, é de 646,34 milhões toneladas, merecendo destaque especial os estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais, que juntos produzem cerca de 80% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2017). O setor energético de origem da cana-de-açúcar é responsável por cerca de 15,7 % de toda energia renovável utilizada no Brasil (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2017).

A imensa área de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil, cerca de 8,76 milhões de ha (CONAB, 2017), gera uma grande demanda de fertilizante para a sua nutrição. Estes, em sua maior parte, são importados de outros países a altos preços, o que elevam o custo de produção. Neste cenário em que a adoção de novas práticas e técnicas agrícolas tem sido feitas de forma acelerada, faz-se necessário produzir conhecimentos que auxiliem os produtores na adoção de tecnologias eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis.

Altos níveis de produtividade demandam grandes quantidades de nutrientes, especialmente potássio, nitrogênio e fósforo, que geralmente são supridos pelo uso de fertilizantes minerais. A alta necessidade em nutrientes desta cultura é decorrente da elevada produção de biomassa por área e da remoção de grande parte dessa massa vegetal no processo da colheita (OLIVEIRA, 2008).

Uma alternativa para que a adubação seja realizada de maneira eficaz, sem comprometer o desenvolvimento da planta e o meio ambiente, é por meio da utilização de adubação orgânica, dentre eles, o uso de fertilizantes organominerais (FOMs). Tais fertilizantes constituem-se da mistura de fertilizantes orgânicos estabilizados de origem animal ou vegetal e fertilizantes minerais, caracterizando uma mistura de textura farelada apta ao fornecimento às culturas e que podem sofrer processamento industrial (RAMOS et al., 2017).

No Brasil, a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Sua regulamentação se fez com o Decreto nº 4954 de Janeiro de 2004, na forma de Anexo, por meio de Instruções Normativas. Dentre as Instruções Normativas, a de nº 25 de 23 de Julho de 2009 merece destaque, pois estabelece normas para especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, fertilizantes organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura (BRASIL, 2009).

Os FOMs sólidos deverão apresentar um mínimo de 8 % de carbono orgânico, CTC mínima de 80 mmol_c kg⁻¹, 10 % de macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em mistura (NK, NP, PK, NPK), 5 % de macronutrientes secundários, 1 % de micronutrientes e 30 % de umidade máxima (BRASIL, 2009). São produzidos em duas etapas, na primeira etapa é obtido um composto orgânico por meio de resíduo orgânico decomposto que resultará em húmus (compostagem). Na segunda etapa é realizado o balanceamento. Esse é feito em função da exigência da cultura e dos nutrientes que o solo pode fornecer.

Na produção de FOMs pode-se ser utilizado diversos tipos ou origens de material orgânico como cama de aviário, esterco de suínos, torta de filtro e lodo de esgoto (RAMOS et al., 2017). Essa última fonte se destaca como promissora na ciclagem de nutrientes de resíduos urbanos (ANTILLE et al., 2013; ANTILLE et al., 2017). O preparo do lodo de esgoto como matéria prima requer a separação mecânica da fase sólida contida na pasta e o tratamento químico com cal virgem e solarização (ALVES FILHO et al., 2016). Assim, este subproduto torna-se livre de contaminação química e biológica. A partir deste tratamento de higienização o lodo de esgoto denomina-se bio sólido, estando viável para uso na agricultura como FOM.

O bio sólido é uma matéria prima rica em carbono, nutrientes e matéria orgânica que pode ser utilizada para produção de FOMs. Essa matéria orgânica contribui efetivamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (KOMINKO et al., 2017). Também é responsável por manter ou aumentar a porosidade do solo e retenção de água, além de desempenhar atividades de agregação do solo (RAMOS et al., 2017). A decomposição de substâncias originadas da matéria orgânica garante o equilíbrio microbiano do solo. Assim, a eficiência em nutrir os vegetais ou aproveitar os nutrientes disponíveis é maximizada (KOMINKO et al., 2017).

OFOM a base de lodo de esgoto melhora significativamente os componentes agronômicos e ambientais do solo, contribuindo com a qualidade de vida da população. Estes fertilizantes podem ser utilizados em adubações de base e cobertura. Quando aplicados em cobertura nas culturas, os FOMs reduzem a perda por volatilização de amônia (NH_3) e apresentam liberação lenta dos nutrientes, aumentando a eficiência da adubação (ANTILLE et al., 2014). Com estes benefícios as respostas das culturas com o organomineral tem equiparadas a fertilização mineral.

Com a necessidade de aumentar a eficiência dos fertilizantes outras técnicas adicionais vem sendo utilizadas visando aumentar quantitativamente e qualitativamente a produção agrícola. Dentre elas, o uso de bioestimulantes, reguladores vegetais ou biorreguladores vem sendo estudado na cultura da cana-de-açúcar. "Estes funcionam como ativadores do metabolismo das células, dão vigor ao sistema imunológico, reativam processos fisiológicos nas diferentes fases de desenvolvimento, estimulam o crescimento radicular, induzem a formação de novos brotos, melhoram a qualidade e quantidade do produto, etc" (SILVA et al., 2010). Os fatores internos de natureza química são os que regulamentam o crescimento dos vegetais (JADOSKI et al., 2012).

Os hormônios vegetais podem ser produzidos em um tecido e transportados para outro local onde terão sua ação efetivada. Também chamados de fitormônios, esses são produzidos no vegetal em diminutas quantidades em proporções muito pequenas. Um mesmo hormônio pode desencadear diferentes respostas ou reações em diferentes órgãos em diferentes fases de desenvolvimento de um vegetal. Entre os hormônios vegetais há interação, uma vez que dificilmente agem isoladamente. As auxinas, citocininas, etileno, ácido abscísico e as giberelinas são tradicionalmente os cinco fitormônios mais conhecidos (RAVEN, 2014).

2 REVISÃO DE LITERATURA

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma espécie vegetal semi-perene, pertencente à família Poaceae. O seu cultivo no Brasil ocorre desde os primeiros anos após a chegada dos portugueses, no início do século XVI. De origem asiática e de características de clima tropical, encontrou condições ideais para o seu desenvolvimento em extensas áreas do Brasil. O açúcar foi o principal produto obtido da cana-de-açúcar em escala mundial, até os meados do século XX. Com o surgimento da revolução industrial, houve um aumento da demanda de fontes de energia, na qual o petróleo, o carvão mineral e o gás natural foram os responsáveis pelo seu suprimento. Na década de 70, com a crise do petróleo, teve início a demanda por fontes de energia renováveis, a exemplo do etanol (SANTOS; BORÉM, 2016).

Desde então, o etanol apresenta-se como importante cultura fornecendo não só alimentos, mas energia renovável, fortalecendo ainda mais a economia brasileira. Em aproximadamente um século o Brasil já possuía veículos movidos a etanol. Porém, a grande expansão dos canaviais aconteceu por volta dos anos 1970 com o surgimento do Pro-álcool. Ocorreu-se a partir deste momento uma revolução agrícola canvieira, com surgimento de novas variedades, tratamentos culturais, adubações, formas de colheitas e modernos sistemas de manejo. Portanto, nos dias atuais, a cultura transformou o setor sucroalcooleiro num dos mais importantes para a economia brasileira, com as commodities agrícolas açúcar e etanol (SANTOS; BORÉM, 2016).

Com todo o pacote tecnológico existente na atualidade para o cultivo da cana-de-açúcar, faz-se vislumbrar um futuro ainda mais promissor economicamente, socialmente e ambientalmente para o planeta. A cogeração de energia e o etanol de segunda geração ou etanol celulósico são grandes exemplos (UNICA, 2013).

Neste cenário em que a adoção de novas práticas e técnicas agrícolas tem sido feitas de forma acelerada, muitas vezes passando à frente da produção científica, faz-se necessário produzir conhecimentos que auxiliem os produtores na adoção de tecnologias sustentáveis e economicamente viáveis.

O uso do lodo de esgoto na agricultura é uma alternativa sustentável promissora para países como o Brasil. Aliada à produção de resíduos urbanos o país possui uma grande área agricultável com aproximadamente 71,7 milhões de hectares. Somente a área ocupada pela cana-de-açúcar corresponde a 9,5 milhões de hectares (IBGE, 2017). A utilização de lodo de esgoto na agricultura é uma estratégia importante para

reciclagem de resíduos orgânicos originados do meio urbano. Por ser rico em matéria orgânica, possui capacidade de recuperar a estrutura física e melhorar a qualidade química do solo (KULIKOWSKA; GUSIATIN, 2015).

O lodo de esgoto é uma importante matéria prima orgânica para produção de fertilizantes organominerais. Originado de resíduos, apresenta-se como alternativa sustentável para a produção agrícola. Os FOMs conferem agregação de valor agrônômico aos resíduos orgânicos. A mistura de fertilizantes minerais com orgânicos aumenta a eficiência dos mesmos e melhora a qualidade do solo. A fertilidade do solo é aumentada e o impacto ambiental é reduzido, tornando-se sustentável e econômico (TEIXEIRA et al., 2014).

Assim, a presente revisão tem como objetivo descrever os benefícios dos FOMs como uma fonte sustentável e apresentar o bioestimulante no cultivo da cana-de-açúcar.

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é cultivada em grande parte do território nacional. Desde sua implantação na época do Brasil colônia, tornou-se uma cultura de grande importância para o desenvolvimento econômico e social do país. A cultura tem função correlacionada com o setor agrícola para a produção de açúcar e etanol e grande participação na matriz energética brasileira para atender a demanda crescente no mercado nacional e internacional (CONAB, 2017).

A cana-de-açúcar assumiu importante participação na produção de energia renovável no Brasil com o surgimento do Pro-álcool para incentivar a produção do etanol (GONÇALVES; MENDONÇA, 2010). Outro fator importante para o crescimento da demanda de etanol foi a mudança de políticas públicas e o avanço tecnológico com o surgimento dos veículos "*flex-fuel*" na frota brasileira (PEREIRA; PAULA, 2016). Além de fonte de alimento para humanos e animais, a cultura tornou-se importante fonte de energia térmica no aquecimento das caldeiras das indústrias (LIMA JÚNIOR et al., 2014).

Outra importante fonte de agregação de valor da cana-de-açúcar, oriundo de pesquisas mais recentes, é a tecnologia para produção de etanol celulósico ou de segunda geração (BRASSOLATTI et al., 2016). Além disso, vale ressaltar outros resíduos derivados da produção de etanol, originado do caldo do colmo, a exemplo da torta de filtro e vinhaça, que são reciclados e utilizados como importante fonte de

fertilizantes (SOUSA, 2014; BARROS et al., 2016). Por essas razões, a cana-de-açúcar é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renovável, com grandiosa importância para o cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial (RIBEIRO et al., 2016).

O agronegócio sucroalcooleiro movimentou aproximadamente R\$ 113 bilhões no ano de 2015, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a aproximadamente 8,8 % do PIB nacional do agronegócio (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA, 2016). Além de ser um dos setores que mais empregam no país, com a geração de cerca de (BRASIL..., 2016) 900 mil empregos diretos e congregam mais de 70 mil agricultores (SETOR..., 2016).

A área de cana colhida destinada à atividade sucroalcooleira, na safra 2017/2018, está estimada em 8,76 milhões de hectares, distribuída em todos estados produtores. O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 51,4 % (4.509,2 mil hectares), seguido por Goiás com 10,6 % (930,8 mil hectares), Minas Gerais com 9,4% (825,5 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,5% (660,4 mil hectares), Paraná com 6,8% (600,8 mil hectares), Alagoas com 3,7% (325,2 mil hectares), Pernambuco com 2,7 % (240,7 mil hectares) e Mato grosso com 2,6 % (233,1 mil hectares) (CONAB, 2017).

Nos demais Estados produtores as áreas são menores, mas unidos somam 5,0 % da área cultivada. A previsão do total de cana moída na safra 2017/18 é de 646,34 milhões de toneladas, com redução de 1,7% em relação à safra 2016/17, que foi de 657,18 milhões de toneladas. A produtividade média brasileira está estimada em 73.728 kg ha⁻¹, 1,5% maior que a da safra 2016/17 que foi de 72.623 kg ha⁻¹. Do total da cana esmagada, 310,8 milhões de toneladas (48 %) serão destinadas à produção de açúcar, as quais devem produzir 39.387,2 mil toneladas do produto, 1,8% a mais do que no período 2016/17, com 38.691,1 mil toneladas. O restante, 335,5 milhões de toneladas (52 %), serão destinadas à produção de etanol, gerando um volume total de 26.117,78 milhões de litros de etanol (CONAB, 2017).

A qualidade e longevidade de um canavial é em média de cinco a seis anos. O aumento da longevidade está relacionado com solos de boas propriedades químicas, físicas e biológicas. Um programa de manejo de fertilidade do solo também é uma exigência para formação de bons canaviais. Dessa forma, a adição e/ou manutenção de matéria orgânica no solo, assim como níveis adequados de nutrientes, são necessários para obtenção de altas produtividades. Adubações com FOMs contribuem para adição e

manutenção de matéria orgânica no solo (TEIXEIRA et al., 2014). Fatores fisiológicos associados à nutricionais contribuem consideravelmente com o desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar (MALAVOLTA et al., 1989; PEREIRA; PERES, 2016).

Dentre as estratégias de manejo diferenciadas, destaca-se o emprego de variedades adaptadas à região (LANDELL; BRESSIANI, 2010). A época adequada de plantio, o cultivo mínimo, a manutenção de palhada ou cobertura vegetal sobre o solo, o uso da gradagem e subsolagem no preparo do solo e o uso de maquinário específico com rodados largos, podem proporcionar canaviais mais produtivos e prolongados (COLETI, 2010). Há usinas que realizam mais de 10 cortes ou ciclos numa mesma área sem a renovação do canavial (ARRUDA et al., 2016). Fatores extrínsecos se correlacionam com as exigências do cultivo da cana-de-açúcar, como o clima e solo, contribuindo com altas produtividades, qualidade tecnológica e longos ciclos (BRUNINI, 2010; PRADO et al., 2010).

2.2 Bioestimulantes vegetais

Hormônio vegetal é um composto natural produzido na planta com características orgânicas. Os reguladores vegetais ou biorreguladores são substâncias sintéticas que são administradas ao vegetal. Os estimulantes vegetais ou bioestimulantes é a mistura formada entre reguladores com outros compostos de natureza bioquímica como aminoácidos, nutrientes e outros ingredientes ativos contribuintes com o desenvolvimento vegetal (VIEIRA et al., 2010).

Sabe-se que as plantas dependem dos fatores externos e internos para sobreviverem. Citam-se os fatores externos como: temperatura, pluviosidade, fotoperíodo, tipo de solo, fertilidade, etc, enquanto os fatores internos de natureza química são os que regulamentam o crescimento dos vegetais (JADOSKI et al., 2012). O mecanismo de regulação e/ou controle do desenvolvimento de animais e vegetais dependem de informações que comunicam células, tecidos e órgãos. Essas substâncias controladoras do metabolismo emitem sinais químicos chamados de hormônios (VIEIRA et al., 2010; RAVEN, 2014).

Os hormônios vegetais podem ser produzidos em um tecido e transportados para outro local que terão sua ação efetivada. Também chamados de fitormônios, esses são produzidos no vegetal em diminutas quantidades e em pequenas proporções. Um mesmo hormônio pode desencadear várias respostas ou reações em diferentes órgãos

em distintas fases de desenvolvimento de um vegetal. Entre os hormônios vegetais há interação, uma vez que dificilmente agem isoladamente. As auxinas, citocininas, etileno, ácido abscísico e as giberelinas são tradicionalmente os cinco fitormônios mais conhecidos. Os brassinoesteróides, ácido salicílico, ácido jasmônico e sistemina são outras substâncias que também emitem sinais químicos, pesquisados recentemente (RAVEN, 2014).

2.2.1 Auxinas

Charles Darwin e seu filho Francis em seu livro publicado em 1881 mencionaram estudos envolvendo hormônios vegetais. Alguns anos depois, em 1926, Frits W. Went viera a designar a substância que envolvia seus estudos de auxina. Assim, foi o primeiro fitormônio descrito na literatura (RAVEN, 2014). Os tecidos meristemáticos das plantas são os principais sítios de produção, seja em vias aéreas ou subterrâneas. Dependendo dos tecidos ou locais de produção há grandes variações das quantidades produzidas (VIEIRA et al., 2010).

A auxina ácido indol-3-acético (AIA) é um dos principais hormônios vegetais. Produzido no vegetal, possuem grande capacidade de influenciar no crescimento das plantas e iniciação da atividade cambial e dominância apical (REZENDE et al., 2011). O AIA regula a divisão celular e expansão, diferenciação vascular, desenvolvimento de raízes laterais e dominância apical (TAIZ; ZEIGER, 2009). Pode-se citar também o ácido indol-3-butírico (IBA), ácido 4-cloroindolo-3-acético (4-Cl-IAA) e ácido fenilacético (PAA) como auxinas vegetais (VEGA-CELEDÓN et al., 2016). Lisboa et al. (2014) verificaram resultado viável para o desenvolvimento de calos de cana-de-açúcar utilizando $0,125 \text{ mg L}^{-1}$ de 2,4-D e concluíram que a auxina diminui o diâmetro da célula e do seu núcleo.

2.2.2 Cinetina

As citocininas começaram a ser descobertas por Johannes van Overbeek por volta de 1941 quando observou que água de coco (*Cocos nucifera*) promovia desenvolvimento embrionário e crescimento de células e tecidos. O uso da citocinina isolada tem pouco ou nenhum efeito. Sua ação está intimamente relacionada com as auxinas. Com a união dos dois hormônios há uma rápida divisão celular formando

grande número de células pequenas e indiferenciadas. Porém, tudo será dependente das concentrações e proporção de ambos os hormônios. Em altas concentrações de auxinas haverá grande formação de raízes. Ocorre o inverso, quando em altas concentrações de cinetina há crescimento de gemas (REZENDE et al., 2011; RAPOSO et al., 2013). Em concentrações iguais há produção de células meristemáticas.

Em *Arabidopsis* ssp., ao controlar a velocidade de diferenciação e divisão celular, a citocinina determina o tamanho do meristema radicular. Desta forma, há um balanceamento dos efeitos da auxina, que é responsável por controlar a divisão celular (RAVEN, 2014). As citocininas ainda retardam o envelhecimento das folhas evitando sua senescência, prolongando sua etapa útil na planta (REZENDE et al., 2011). Raposo et al. (2013), comparando meios de cultura para cana-de-açúcar, notaram que a adição de cinetina à água de coco promovem regeneração e crescimento celular de cana-de-açúcar.

2.2.3 Giberelina

As giberelinas foram descobertas por cientistas japoneses em 1926. Estas substâncias estão presentes em praticamente todas as plantas, sendo encontradas 136 giberelinas naturais. O Ácido giberélico é a giberelina mais estudada produzida pelo fungo *Gibberella fujikuroi*. Por promover a divisão e alongamento celular, causam perceptíveis alongamentos dos caules, raízes, folhas e frutos. São eficientes para superar dormência e promover a germinação das sementes (RAVEN, 2014). Campus et al. (2015) observaram aumentos lineares no crescimento de raízes e da parte aérea de plântulas de biribá, promovendo melhor desenvolvimento.

2.2.4 Interação auxina, cinetina e giberelina

A mistura de hormônios vegetais cinetina, etileno, ácido abscísico, ácido giberélico e ácido indol-3-butírico (AIB) transforma-se em estimulante vegetal (bioestimulante) com grande capacidade de favorecer um adequado equilíbrio hormonal. Em função de suas propriedades químicas pode incrementar o crescimento, desenvolvimento e produção da planta. Estimulam a divisão, diferenciação e alongamento celular, melhorando o crescimento e desenvolvimento radicular (SILVA et al., 2010). Dessa forma, a capacidade de exploração do solo e absorção de água e

nutrientes é maximizada. Estimula a germinação de sementes, aumenta o vigor inicial, crescimento e desenvolvimento radicular e foliar. Ainda, favorece a produção de compostos orgânicos que contribuirão significativamente para ocorrência de altos índices de produção e qualidade da produção das plantas (MUCHALAK et al., 2016).

2.3 Uso de lodo de esgoto na agricultura

O lodo de esgoto é um resíduo sólido pastoso resultante das ETEs. Toneladas desse produto são produzidas em estações de tratamento de esgoto (BRASIL, 2009; RESENDE JÚNIOR et al., 2016), para o qual é preciso dar um destino correto, principalmente do ponto de vista ambiental. A utilização do lodo de esgoto na agricultura destaca-se como prática viável do ponto de vista ambiental, social, agrônômico e econômico (DEEKS et al., 2013). É uma prática comum em países desenvolvidos, sendo utilizado por agricultores a mais de 50 anos (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR, 1999). Além disso, a utilização agrícola de lodo de esgoto está de acordo com a agenda 21, negociada na Conferência Mundial de Meio Ambiente, que estimula a minimização da produção de resíduos e sempre que possível, a reciclagem de resíduos (BRASIL, 1995).

Atualmente, o uso na agricultura de lodo de esgoto, oriundo de residências urbanas e industriais, está crescendo substancialmente. Novas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) estão sendo construídas e as existentes estão expandindo sua capacidade. A preocupação ambiental também é crescente, surgindo tecnologias para o uso desse tipo de resíduos como fonte de nutrientes (TSUTIYA, 2001). O lodo de esgoto higienizado ou biossólido é composto por matéria orgânica, nutrientes e alguns elementos potencialmente tóxicos. Além do lodo, o tratamento de esgotos gera águas residuais com baixa carga poluidora. A disposição adequada deste resíduo é um dos principais desafios a ser enfrentado pelos gestores ambientais (GALDOS et al., 2004).

Apesar da resposta no desenvolvimento e produtividade de diversas culturas, por se tratar de um resíduo urbano-industrial, há necessidade de seguir critérios rigorosos para sua aplicação na agricultura, haja vista que em sua composição existem poluentes como metais pesados, compostos orgânicos e micro-organismos patogênicos ao homem (ROCHA et al., 2003). Quando incorporado ao solo, o lodo de esgoto proporciona alterações em propriedades físicas, como a densidade do solo, tamanho dos agregados e capacidade de retenção de água; em propriedades químicas, como o pH, condutividade

elétrica, capacidade de troca catiônica e aumento dos teores de fósforo e nitrogênio; e em propriedades biológicas, geralmente incrementando a atividade microbiana do solo, quando não apresenta limitações com elementos tóxicos e metais pesados (MARTINS et al., 2015).

A utilização do lodo de esgoto já foi estudada em diversas culturas. Em estudos realizados por Rabello (2013), observou-se que a produção de azevém tratado com biossólidos a partir de 25 % de adição de lodo de esgoto foi superior aos tratamentos contendo somente solo. Silva et al. (2008) avaliaram o efeito da adição de diferentes doses dos lodos de esgoto úmido (torta) e seco (granulado), complementados com potássio e boro e aplicados ao solo nas linhas de plantio em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis*. Dezoito meses após a implantação das mudas no campo, o volume dos troncos demonstrou aumento significativo de aproximado de 130% ao crescimento dos eucaliptos tratados com os biossólidos úmido e seco em relação à testemunha sem aplicação de fertilizante, apresentando resultado semelhante ao do tratamento com adubo mineral.

Lemainskie Silva (2006) concluíram que o aproveitamento do biossólido como fertilizante na cultura da soja é viável em termos agronômicos e econômicos, sendo que o efeito residual do biossólido úmido é evidenciado no segundo cultivo, além de ser, em média, 18% mais eficiente que o FM como fonte de nutrientes para a cultura. Rocha et al. (2003) constataram maior produtividade em couve adubada com lodo de esgoto quando comparadas com aquelas adubadas com esterco.

A resolução CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA Nº 375/2006 impõe normas e critérios na utilização do lodo de esgoto na agricultura. O artigo 2º determina que o lodo de esgoto seja tratado ou higienizado para fins de uso em culturas agrícolas ou florestais. Estes são processos de estabilização, extermínio ou redução de patógenos, redução do poder de atração de vetores de moléstias. O artigo 5º diz que o lodo de esgoto para uso agrícola deve-se atender a limites mínimos das substâncias ou elementos potencialmente tóxicos. O artigo 11º da seção III da resolução Nº 375/2006 estabelece a concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg kg⁻¹, base seca) de 41 de arsênio, 1300 de bário, 39 de cádmio, 300 de chumbo, 1500 de cobre, 1000 de cromo, 17 de mercúrio, 50 de molibdênio, 420 de níquel, 100 de selênio e 2800 de zinco.

Atendendo a resolução CONAMA Nº 375/2006, o lodo de esgoto deve passar por um processo de higienização ou compostagem para se tornar um biossólido. Dessa

forma, ocorrerá uma redução do volume da massa de resíduo, eliminação ou redução extrema de patógenos nocivos, redução do volume de água, redução ou eliminação de poluentes orgânicos ou inorgânicos, como metais pesados (KULIKOWSKA; GUSIATIN, 2015). Dentre outras formas e higienização, o lodo de esgoto centrifugado pelas ETEs é tratado com adição de cal hidratada e submetido a raios ultravioletas solares sob condição de estufa. Posteriormente é desidratado a ponto de manipulação na forma de sólido (RESENDE JÚNIOR et al., 2016).

2.4 Fertilizantes organominerais - FOMs

Os FOMs são uma mistura formada por fertilizantes de fração orgânica e mineral. Sua utilização para aplicação nos solos é dependente de especificações próprias e garantias mínimas. Os FOMs sólidos deverão apresentar um mínimo de: 8 % de carbono orgânico; CTC mínima de 80 mmol_c kg⁻¹; 10 % de macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em mistura (NK, NP, PK, NPK); 5 % de macronutrientes secundários; 1 % de micronutrientes e 30 % de umidade máxima (BRASIL, 2009).

O FOM pode ser produzido a partir da mistura física das fontes orgânica com a mineral, originando o organomineral farelado, apto ao fornecimento às culturas. As duas matérias primas poderão, após a homogeneização, passar por um processo de peletização por extrusão. A peletização por extrusão é o processo pelo qual o fertilizante passa em curto espaço de tempo por alta pressão, umidade e temperatura (AMARAL, 2002; OLIVEIRA, 2014), produzindo pellets com elevado grau de dureza (8,0 kgf cm⁻²) (TEIXEIRA, 2013). Este último autor afirma que o fertilizante adquire alta resistência à fragmentação, evitando segregação dos componentes. Ferreira (2014) afirma que os FOMs podem melhorar a eficiência agrônômica das adubações. Eles reduzem o processo natural de fixação do fósforo lábil fornecido ao solo estando prontamente disponível às plantas por um tempo mais longo. Componentes minerais móveis no solo, como nitrogênio e boro, são liberados de forma mais lenta possibilitando maior aproveitamento das plantas.

Os FOMs passam por processo físico-químico-mecânico de digestão que eliminam os microorganismos patogênicos, tornando-os isentos de patógenos e sementes viáveis de ervas daninhas. O processo demanda de temperaturas de aproximadamente 70° C e pressão para formar os pellets. Assim, há um aumento da segurança em seu uso na agricultura (OLIVEIRA, 2014). Nesse sentido, há uma grande

possibilidade de estar submetendo o lodo de esgoto a um processo industrial de rotina para estar produzindo os FOMs, transformando-os em FOMs descontaminado. Por ser uma matéria prima oriunda de resíduos urbanos há um ganho muito grande em sustentabilidade.

Dentre as matérias primas que podem ser utilizadas na mistura ou processamento de um FOM, estão: lodo de esgoto, cama ou esterco de galinha, esterco de bovino e de suíno, torta de mamona, torta de filtro oriundos do processamento de etanol e açúcar, adubos verdes, turfa, compostos orgânicos e resíduos do processamento de frutos (SOUSA, 2014).

Sousa (2014), ao pesquisar FOM para a produção de cana-de-açúcar, concluiu que a eficiência na utilização dos nutrientes aplicados foi maior quando comparado ao FM na maioria das doses avaliadas, além de ser mais eficiente tanto em cana planta quanto em cana soca e pode substituir o FM incrementando uma eficiência de até 24 % de produção de colmos. Teixeira (2014) também observou maior eficiência em doses de fósforo fornecidas por FOM na cultura da cana-de-açúcar.

Branco (2012) comenta alguns "benefícios sustentáveis dos FOMs". Dentre eles, a capacidade de recuperação da flora microbiana, a redução da acidificação do solo e a liberação gradativa de nutrientes. Tais benefícios influenciam no melhor desenvolvimento do sistema radicular; menor fixação de fósforo aos colóides do solo e maior absorção de água. Para Sousa (2014), o custo operacional da lavoura terá redução por diminuir operações de calagem e pela aplicação conjunta de fertilizantes mineral e orgânico ao longo dos cultivos.

A partir do desenvolvimento agropecuário no século XXI, iniciou-se o aumento do descarte de resíduos agropecuários. Assim, agricultores iniciaram a reutilização ou ciclagem em maiores proporções. Percebendo os grandes benefícios dos fertilizantes orgânicos, uniram-se as vantagens dos fertilizantes minerais. Porém, a viabilidade econômica de aplicação de grandes volumes de fertilizantes orgânicos em extensas áreas é baixa. A adição de componentes minerais enriquece a mistura, proporcionando a redução de grandes volumes e custos. Gargalos como logística, disponibilidade de matéria prima apta ao enriquecimento com fonte mineral e infraestrutura de produção são fatores reais que os agricultores e as empresas do setor enfrentam. O conhecimento da composição e a manipulação dos resíduos constituem-se em barreiras que dificultam o processo. Há várias fontes orgânicas, dentre elas o próprio lodo de esgoto, porém este é dotado de vários critérios rigorosos para a sua utilização, tornando-se uma dificuldade.

Diante do exposto, ainda vale salientar que falta mais incentivos governamentais como financiamentos e subsídios, onde empresas privadas possam investir na ciclagem de resíduos, principalmente o lodo de esgoto.

A nutrição adequada de um canavial é muito importante para obtenção de altas produtividades da cultura. Por meio da utilização de bioestimulantes e fertilizantes organominerais, incluindo os de lodo de esgoto e sua associação, destaca-se a importância global do aperfeiçoamento e uso desta tecnologia. Os ganhos em produtividade dos canaviais são promissores. Ademais, os grandes ganhos advêm da construção e manutenção de um solo fértil da ciclagem de nutrientes essenciais que são descartados como resíduos. Ainda, da redução de contaminantes de mananciais e do subsolo, da redução da emissão de gases causadores de efeito estufa, além da redução de ambientes proliferadores de doenças e seus respectivos vetores. Enfim, são grandes os ganhos ambientais, econômicos e sociais da utilização desta prática agrícola no cultivo da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, A.; CAMARGO, R.; LANA, R. M. Q.; MORAES, M. R. B.; MALDONADO, A. C. D.; ATARASI, R. T. Treatment of sewage sludge with the use of solarization and sanitizing products for agricultural purposes. **African Journal of Agricultural Research**, Grahamstown, v.11, n.3, p.184-191, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2015.10571
- AMARAL, C. M. C. **Extrusão e peletização de ração completa: efeitos no desempenho, na digestibilidade e no desenvolvimento das câmaras gástricas de cabritos saanen**. 2013. 71f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia/Produção animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal - SP/Brasil, 2013.
- ANTILLE, D. L.; GODWIN, R. J.; SAKRABANI, R.; SENEWEERA, S.; TYRREL, S. F.; JOHNSTON, A. E. Field-scale evaluation of biosolids-derived organomineral fertilizers applied to winter wheat in england. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, n. 2, p. 654-674, 2017.DOI.: 10.2134/agronj2016.09.0495
- ANTILLE, D. L.; SAKRABANI, R.; GODWIN, R. J. Effects of biosolids-derived organomineral fertilizers, urea, and biosolids granules on crop and soil established with ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 45, n 12, p.1605–1621, 2014. DOI: 10.1080/00103624.2013.875205.
- ANTILLE, D. L.; SAKRABANI, R.; TYRREL, S. F.; LE, M. S.; GODWIN, R. J. Characterisation of organomineral fertilisers derived from nutrient-enriched biosolids granules. **Applied and Environmental Soil Science**, New York, v. 2013, 2013. p.11.DOI.: 10.1155/2013/694597.
- ARRUDA, E. M.; ALMEIDA, R. F.; DOMINGUES, L. A. S.; DA SILVA JÚNIOR, A. C.; MORAES, E. R.; BARROS, L. R.; SOUSA, J. L. O.; LANA, R. M. Q. Soil porosity and density in sugarcane cultivation under different tillage systems. **African Journal of Agricultural Research**, Grahamstown, v. 11, n. 30, p. 2689-2696, 2016.
- BARROS, V. G.; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. Reatores UASB mesofílicos em série para produção de biogás utilizando vinhaça com torta de filtro. **Ciência & Tecnologia**: Fatec-JB, Jaboticabal, v. 8, Suplemento, 2016.
- BRANCO, G. Benefícios sustentáveis dos fertilizantes organominerais. Força e união da indústria de tecnologia e nutrição. Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. **ABISOLO**, São Paulo, Agroanalysis, 2012.
- BRASIL: Câmara dos Deputados (Trad.). **Conferência das nações unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento**: Agenda 21. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 471 p.
- BRASIL é líder na geração de empregos em biocombustíveis. **Diário Pernambucano**, Recife, 2016. Disponível em: <http://www.impresso.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/cadernos/economia/2016/09/10/interna_economia,153535/brasil-e-lider-na-geracao-de-empregos-em-biocombustiveis.shtml>. Acesso em 11 fev. 2017.

BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento - MAPA. Secretaria de defesa agropecuária. **Instrução normativa nº 25**, de 23 de julho de 2009. Brasília: MAPA, 2009. Disponível em:

<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>>. Acesso em 11 jan. 2018.

BRASSOLATTI, T. F. Z.; HESPANHOL, P. A.; COSTA, M. A. B.; BRASSOLATTI, M. Etanol de Primeira e Segunda Geração. **Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação**, Boituva, v. 2, n 1, p.1-9, 2016.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo ,1 ed., 2010. 882p.

CAMPUS, L F. C.; ABREU, C. M. de; GUIMARÃES, R. N.; SELEGUINI, A. Escarificação e ácido giberélico na emergência e crescimento de plântulas de biribá. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.10, p.1748-1754, 2015.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Piracicaba: CEPEA,2016. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em 11 fev. 2017.

COLETI, J. T. Tratos culturais na cana soca. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. 1. ed.Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. 882p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: SANEPAR, 1999. 98 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. V. 4 - SAFRA 2017/18 N. 2: segundo levantamento**. Brasília: CONAB, 2017. p. 1-72. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_08_24_08_59_54_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_17-18.pdf>. Acesso em 11 nov. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 375 , de 29 de agosto de 2006.

DEEKS, L. K.; CHANEY, K.; MURRAY, C.; SAKRABANI, R.; GEDARA, S.; LE, M. S.; TYRREL, S.; PAWLETT, M.; READ, R.; SMITH, G. H. A new sludge-derived organo-mineral fertilizer gives similar crop yields as conventional fertilizers. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 33, n. 3., p.539-549, 2013.

FERREIRA, N. R. **Eficiência agrônômica de fertilizantes organominerais sólidos e fluídos em relação a disponibilidades de fósforo**. 2014. 67 f. Dissertação (Mestrado

em agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p.569-577, 2004.

GONÇALVES, R. J. A. F.; MENDONÇA, M. R. Modernização energética e desenvolvimento do setor sucroalcooleiro: reestruturação produtiva do capital e precarização do trabalho nas áreas de Cerrado. **Revista Percursos - NEMO**, Maringá, v. 2, n. 1, p.53-72, 2010.

IBGE. 2017. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201701_1.shtm>. Acesso em 10 fev. 2017.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; RODRIGUES, J. D. Desenvolvimento morfofisiológico de raízes e brotos da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 11, n. 2, p 22-32, 2012.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. The Possibility of Organo-mineral fertilizer production from sewage sludge. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 8, n. 37, p. 1-11, 2017. Doi:10.1007/s12649-016-9805-9.

KULIKOWSKA, D.; GUSIATIN, Z. M. Sewage sludge composting in a two-stage system: Carbon and nitrogen transformations and potential ecological risk assessment. **Waste Management**, New York, v. 38, p. 312-320, 2015.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 1 ed., 2010. 882p.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Avaliação agrônômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n. 10, p.1477-1484, 2006.

LIMA JÚNIOR, C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; LIMA, R. L. F. A.; MENEZES, R. S. C. Potencial de Aproveitamento Energético de Fontes de Biomassa no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.07, n. 02, p.207-221. 2014,

LISBOA, L. A. M.; VENTURA, G.; CHAGAS, A. T.; VIANA, R. da S.; FIGUEIREDO, P. A. M. Concentrações de 2,4-D para o desenvolvimento de calos de meristemas de cana-de-açúcar. **Ciência & Tecnologia**: Fatec-JB, Jaboticabal, v. 6, p. 187-191, 2014.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: **POTAFOS**, 1989. 201p.

MARTINS, B. H. S.; MARTINEZ, D. G.; PUIG, P.; BANDAR, H. A.; SCHIMITZ, W. C. Uso de Biossólido na Agricultura. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Palotina, v.4, p. 64-72, 2015.

MUCHALAK, S. M.; CUNHA, F. F.; GUAZINA, R. A.; LIMA, S. F.; GODOY, A. R. Utilização de bioestimulante nas características agrônômicas de diferentes cultivares de batata irrigada. **Núcleo**, Ituverava, v.13, n.2, 2016.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

OLIVEIRA, G. R. **Validação do processo de digestão e de peletização de cama de aviário para a produção de fertilizante organomineral**. 2014. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PEREIRA, W.; PAULA, N. Fomento federal ao etanol de segunda geração no brasil: um exame da atuação da FINEP e do BNDES. **Revista de políticas públicas**. São Luís, v. 20, n. 2, p.1-20, 2016. DOI:10.18764/2178-2865.v20n2p805-824

PEREIRA, F. B.; PERES, F. S. B. Nutrição e enraizamento adventício de plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 319-326, 2016. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.87.1146

PRADO, H.; JÚNIOR, A. L. P.; GARCIA, J. C.; MORAES, J. F. L.; CARVALHO, J. P.; DONZELI, P. L. Solos e ambientes de produção. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1 ed., 2010. 882p.

RABELLO, R. V. **Estudo do efeito de diferentes doses de biossólido sobre o desenvolvimento de azevém (*Lolium multiflorum* Lam Semilla)**. 2013. 86 f. (Trabalho conclusão de curso/Engenharia Ambiental). Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí - SC/Brasil.

RAMOS, L. A.; LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; SILVA, A. A. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. **African Journal of Agricultural Research**, Grahamstown, v. 12, n. 1, p. 20-27, 2017. DOI: 10.5897/AJAR2016.11024

RAPOSO, M. S.; GOIA, T. G.; NASCIMENTO, D. D.; OLIVEIRA, E. T. Comparação de meios de cultura para organogênese direta de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Bioenergia em Revista: diálogos**, Piracicaba, v 3, n. 1, p. 9-19, 2013.

RAVEN, P. H. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro - RJ, Guanabara Koogan, 8. ed., 2014. 1637p.

RESENDE JÚNIOR, J. C.; CAMARGO, R.; LANA, R. M. Q.; FILHO, A. A.; MATOS, A. L. A. The effects of sewage sludge, mineral and organic fertilizers on initial growth of *Urochloa brizanthacv* Marandu (Hochst. exA. Rich.) R. D Webster.

African Journal of Agricultural Research, Grahamstown, v. 11, n. 36, p. 3460-3470, 2016.

REZENDE, J. C.; CARVALHO, C. H. S.; SANTOS, A. C. R.; PASQUAL, M.; MENDES, A. N. G. Influência de auxina e citocinina no desenvolvimento de embriões somáticos de *Coffea arabica* L. **Plant Cell Culture Micropropagation**, Lavras, v.7, n.1, p. 1-8, 2011.

RIBEIRO, N. V.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. Avaliação da expansão do cultivo da cana-de-açúcar no bioma cerrado por meio de modelagem dinâmica da paisagem. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 1, 1-14p., 2016.

ROCHA, R. E. M.; PIMENTEL, M. S.; ZAGO, V. C. P.; RUMJANEK, N. G.; DE-POLLI, H. Avaliação de biofertilizante de águas servidas domiciliares como adubo em couve. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n.12, 2003.

SANTOS, F.; BORÉM, A. **Cana-de-açúcar: do plantio a colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2016. 290 p.

SETOR DA CANA-DE-AÇÚCAR GERA 900 MIL EMPREGOS DIRETOS. **Jornal da Paraíba**. Rio de Janeiro: 2016. Disponível em: <<http://www.jornaldaparaiba.com.br/economia/setor-da-cana-de-acucar-gera-900-mil-empregos-diretos.html>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

SILVA, M. A.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.4, p.774-780, 2010.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n. 5, p.845-854, 2008. DOI:10.1590/S0100-67622008000500009

SOUSA, R. T. X. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar**. 2014. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG/Brasil.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TEIXEIRA, W. G. **Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilizantes mineral e organomineral**. 2013. 115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG/Brasil.

TEIXEIRA, W. G.; SOUZA, R. T. X. de; KORNDÖRFER, G. H. Response of sugarcane to doses of phosphorus provided by organomineral fertilizer. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biofertilizantes. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.;

MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O., eds. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo, SABESP, 2001. 468p.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Usina pioneira de etanol celulósico coloca Brasil entre líderes globais no uso da nova tecnologia**.

2013. Disponível em:

<<http://www.unica.com.br/noticia/29810917920343378786/usina-pioneira-de-etanol-celulosico-coloca-brasil/>>. Acesso em 06 jan. 2017.

VEGA-CELEDÓN, P.; MARTÍNEZ, H. C.; GONZÁLEZ, M.; SEEGER, M. Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. **Cultivos Tropicales**. Mayabeque, v.37, supl. 1, p. 33-39, 2016. DOI: 10.13140/RG.2.1.5158.3609

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SILVA, J. S. Manual de fisiologia vegetal. São Luis - MA, **EDUFMA**, 2010, 230p.

CAPÍTULO 2

Cana-de-açúcar: fertilizante organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp L.*), com uma expectativa em torno de 8,76 milhões de hectares para a safra 2017/2018, com uma produtividade média de 73,7ton ha⁻¹, espera-se uma produção de aproximadamente 646,4 milhões de toneladas (CONAB, 2017). A produção mundial de açúcar para 2016/17 é estimada em 174 milhões de toneladas, tendo como principais produtores, além do Brasil, a Índia, União europeia (açúcar de beterraba), China, Tailândia e Estados Unidos (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2016).

O custo de fertilizantes no Brasil é alto e, de acordo com Ramos et al., (2017), a dependência de importações dessa fonte não renovável de nutrientes como fósforo e potássio eleva o custo de produção da cana-de-açúcar. O estudo dos fertilizantes organominerais (FOMs) tem gerado grande expectativa relativo a sua eficiência, economia, sustentabilidade (RADY, 2012; KULIKOWSKA e GUSIATIN, 2015; LIANG et al., 2016) e possibilidade de ciclagem de nutrientes ao utilizar o lodo de esgoto (DEEKS et al., 2013). Para as usinas canavieiras é economicamente e ambientalmente importante atender uma sociedade mais exigente em ações sustentáveis. Estudos da influência da adubação mediante a utilização de FOMs vêm sendo realizados na cultura da cana-de-açúcar (OLIVÉRIO et al., 2011; DEEKS et al., 2013).

Como qualquer outra tecnologia, os FOMs vêm sendo gradualmente avaliados em diferentes culturas e condições ambientais. Estudos recentes têm demonstrado que a cultura da cana-de-açúcar pode responder positivamente a este tipo de fertilizante, superando os tradicionais fertilizantes minerais. Foi o que observaram Teixeira et al. (2014), ao relatarem que a eficiência agrônômica da utilização de FOM na cana-de-açúcar foi maior em comparação ao FM. Em estudo abrangendo duas safras em cana planta, o FOM pode substituir o FM e apresentar até 24% a mais de eficiência na produção de colmos de cana-de-açúcar (SOUSA, 2014). Ramos et al. (2017) também recomendam a adubação com FOMs para essa cultura.

O lodo de esgoto higienizado, também chamado de biossólido, é um resíduo sólido pastoso resultante de Estações de Tratamentos de Esgoto - ETE (TSUTIYA, 2001). A produção total registrada do lodo de esgoto em países da Europa no ano de 2013 variou entre 6.2 (SEWAGE..., 2017) e 9.4 (DEEKS et al., 2013) milhões de toneladas. O lodo de esgoto higienizado ou biossólido é composto por matéria orgânica,

nutrientes e alguns elementos potencialmente tóxicos (GALDOS et al., 2004). É preciso dar um destino correto ao resíduo, principalmente do ponto de vista ambiental. Deste modo, a utilização do bio sólido na agricultura destaca-se como prática viável o ponto de vista ambiental, social, agrônômico e econômico (DEEKS et al., 2013). É uma prática comum em países desenvolvidos, sendo utilizado por agricultores a mais de 50 anos (SANEPAR, 1999). Resende Júnior et al. (2016) concluíram que o FOM a base de bio sólido aumentou a matéria fresca da forragem *Urochloa brizantha* e proporcionam benefícios agrônômicos podendo produzir ganhos sociais e ambientais com menor impacto na saúde pública.

Os bioestimulantes são substâncias naturais ou sintéticas que podem ser aplicados diretamente nas plantas para alterar seus processos vitais e estruturais, visando aumentar produção e a qualidade de culturas de interesse econômico (SILVA et al., 2010; FERREIRA et al., 2013). A aplicação dos bioestimulantes tem como objetivo manter o equilíbrio hormonal da planta, tornando-a menos suscetível a estresses (SHARMA et al., 2016). São produtos que tem grande potencial para a utilização na agricultura. Várias são as substâncias que compõem esses produtos, principalmente hormônios vegetais como auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e outras análogas (SILVA et al., 2010).

O cultivo de cana-de-açúcar sob condições de nutrição balanceada é a base para a produção de bons índices de qualidade do caldo. O fornecimento adequado de nutrientes viabiliza e fornece à planta maior resistência/tolerância contra patógenos e pragas, além de acelerar as funções metabólicas da planta para produzir e acumular açúcares. Estudos feitos por Showler (2015) em cana-de-açúcar adubada com esterco de galinha, mostraram maior taxa de equilíbrio e tolerância contra lesões causadas pela broca do arroz (*Eoreuma loftini* (Dyar)) (Lepidoptera: Crambidae). O estudo mostrou maior índice de °Brix no caldo da cana quando o cultivo estava sob melhores condições nutricionais ou as plantas hospedeiras da praga estavam em situação de nutrição desbalanceadas.

O rendimento e produtividade da cana-de-açúcar, assim como demais cultivos, é dependente de quantidade suficiente e bom equilíbrio de nutrientes no solo. Fertilizantes a base de lodo de esgoto complementados com fertilizantes minerais são alternativas que garantem essa necessidade. Chiba et al. (2009) estudaram a adubação mineral e adubação com lodo de esgoto. Observaram melhor produtividade com FM isolado.

Verificaram também aumento de produtividade utilizando somente lodo de esgoto (8,2 t ha⁻¹) no sulco de plantio comparado a ausência de fertilizante.

O objetivo deste trabalho foi avaliar em solos com diferentes níveis de fertilidade o crescimento e o desenvolvimento inicial, biometria, rendimento e qualidade do caldo da cana-de-açúcar adubada com fertilizante mineral e organomineral a base de biofósforo, na presença e ausência de bioestimulante.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Experimento em LVAd

O primeiro experimento foi realizado em solo de maior fertilidade no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Morrinhos, Morrinhos - GO, localizado nas coordenadas 17° 48' 33,7" S e 49° 12' 19,9" W, a altitude de 900 metros. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico - LVAd(EMBRAPA, 2013). Dados meteorológicos foram captados via estação meteorológica do Campus Morrinhos (Figura 1).

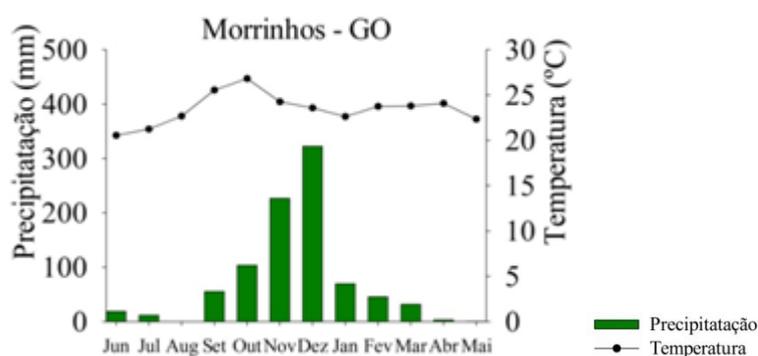


FIGURA 1. Média da precipitação (mm) e temperatura (°C) da área experimental durante o ciclo da cultura na safra 2015/2016.

Fonte: (O autor, 2017).

Por aproximadamente quinze anos cultivou-se milho e soja em anos alternados nesta área, em safra e safrinha, permanecendo em pousio nos demais meses do ano, em todas as safras. Foram realizadas amostragens de solo nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm (Tabela 1). A textura é argilosa e a caracterização física do solo apresentou 40,9 % de argila, 21,2 % de silte e 37,9 % de areia.

TABELA 1. Caracterização química antes da instalação do experimento, LVAd de Morrinhos - GO.

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	Al	P	K	H+Al	T	V	m	M.O.
	1:2,5	----cmol _c dm ⁻³ ---			--mg dm ⁻³ --		cmol _c dm ⁻³		----%----		-g kg ⁻¹ -
0-20	6,0	2,1	0,6	0,0	11,6	136	2,5	5,55	55	0	2,7
20-40	5,9	1,2	0,3	0,0	3,0	55	2,5	4,14	40	0	1,1

pH em H₂O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); P, K = (extrator Mehlich⁻¹); H + Al = (SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, Metodologias baseadas em Embrapa (2011).

Fez-se fosfatagem a lanço com 800 kg ha⁻¹ de termofosfato yorim (16 % P₂O₅; 18 % Ca; 7 % Mg; 0,10 % B; 0,05 % Cu; 0,30 % Mn; 10 % Si; 0,55 % Zn), seguida de gradagem com grade aradora e niveladora. Foram semeadas 30 kg ha⁻¹ de sementes de *Crotalaria juncea* em novembro de 2014 e no intenso florescimento aos 90 dias após semeio foi realizado o corte (Figura 2). Após quatro meses da roçagem, fez-se a dessecação com 3,0 L ha⁻¹ de glyphosate e 1,0 L ha⁻¹ de 2, 4-D.



FIGURA 2. Roçagem da *Crotalaria juncea* aos 90 dias após semeio em intenso florescimento.

Fonte: (O autor, 2017).

Os sulcos para plantio foram abertos via sulcador com abertura de haste de 52 a 82 cm e profundidade até 40 cm (Figura 3). Em 02 de junho de 2015 foram plantadas toletes da cultivar RB 92 579 com 15 a 18 gemas viáveis metro⁻¹ na profundidade de 30 a 40 cm. A adubação de plantio foi de 470 kg ha⁻¹ da formulação 04-21-07 e cobertura de 400 kg ha⁻¹ do 07-00-28 + 0,7% de B aos 150 dias após plantio DAP (ALVAREZ V. et al., 1999). Por estar situado em local muito drenado, houve a necessidade de realizar irrigação para melhor brotamento e desenvolvimento inicial das plantas. Foi utilizada uma lâmina d'água de 10 mm, dividida em duas vezes na semana, por 60 dias. Foi utilizado reboque de água tratorizado com capacidade de 5000 L de água. A irrigação foi somente sobre o sulco de plantio.



FIGURA 3. Abertura de sulco para plantio das mudas.

Fonte: (O autor, 2017).

2.2 Experimento em LAd

O experimento foi implantado em área de expansão de canal e com solo de menor fertilidade na Usina Vale do Tijuco, situado em Rio do Peixe, distrito de Prata - MG, localizado nas coordenadas $19^{\circ} 30' 01,7''$ S e $48^{\circ} 28' 31,8''$ W, a altitude de 780 metros. Está situado a aproximadamente 200 metros a montante de uma nascente de água. O solo é classificado como Latossolo Amarelo distrófico -LAd (EMBRAPA, 2013). O mesmo permanece úmido a uma profundidade média de 40 cm na estação seca do ano. Dados meteorológicos foram captados via estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET - Uberlândia - MG (Figura 4).

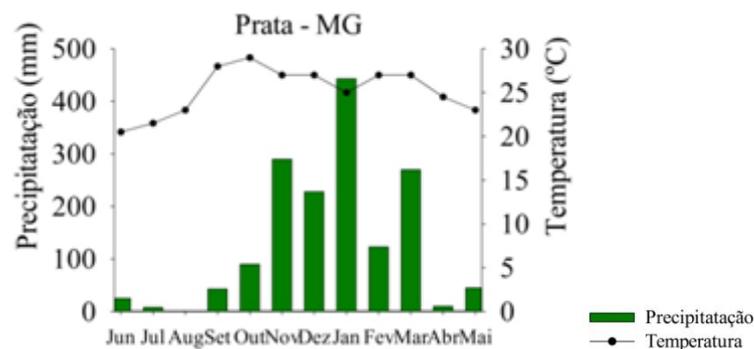


FIGURA 4. Média da precipitação (mm) e temperatura (°C) da área experimental durante o ciclo da cultura na safra 2015/2016.

Fonte: (O autor, 2017).

Na área cultivou-se pastagem por aproximadamente dez anos, apresentando condição de degradação leve. O resultado da amostragem e análise química nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm é representado na tabela 2. O solo é franco arenoso com 18,5 % de argila, 9,5 % de silte e 72,0 % de areia. Foi realizada uma calagem com 2,4 t ha⁻¹ de calcário dolomítico antes da implantação do experimento para corrigir a acidez e elevar a saturação de bases do solo. Fez-se uma aração com arado de aivecas após a distribuição do calcário e posterior gradagem e nivelamento do solo com grade niveladora.

TABELA 2. Caracterização química antes da instalação do experimento, LAd de Prata - MG.

Prof. (cm)	pH (H ₂ O) 1:2,5	Ca	Mg	Al	P	K	H+Al	T	V	m	M.O.
		-----cmol _c dm ⁻³ ----			--mg dm ⁻³ --		cmol _c dm ⁻³		----%----		-g kg ⁻¹ -
0-20	5,0	0,9	0,8	2,4	2,0	88	2,5	3,7	32	20	1,34
20-40	4,8	0,7	0,6	3,6	2,0	45	2,5	3,3	24,3	49	0,87

pH em H₂O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); P, K = (extrator Mehlich⁻¹); H + Al = (SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, Metodologias baseadas em Embrapa (2011).

Os sulcos para plantio foram abertos com sulcador de abertura da haste de 52 a 82 cm e profundidade de 40 cm (Figura 5A). Plantou-se de 15 a 18 gemas viáveis metro⁻¹ na profundidade de 30 a 40 cm de profundidade (Figura 5B). O experimento foi implantado em 22 de maio de 2015, utilizando a cultivar RB 92 579. A recomendação de adubação de plantio foi de 570 kg ha⁻¹ da formulação 04-21-07 e cobertura de 570 kg ha⁻¹ do 07-00-28 + 0,7% de B aos 150 DAP (ALVAREZ V. et al., 1999).



FIGURA 5. Sulcador utilizado para abertura de sulcos (A); sulcos para plantio das mudas de cana-de-açúcar (B).

Fonte: (O autor, 2015).

2.3 Produção do organomineral

O FOM foi produzido a partir do lodo de esgoto higienizado extraído da estação de tratamento de esgoto do Departamento Municipal de Água e Esgoto da cidade de Uberlândia - MG. O esgoto foi centrifugado separando-se o lodo de esgoto (Figura 6A). O lodo de esgoto continha 70 % de umidade e 30 % de sólidos. O lodo de esgoto, ainda úmido passou por processo de eliminação de patógenos com tratamento químico, incorporando-se 30 % de cal hidratada sobre a parte sólida existente no centrifugado (Figura 6B). Após incorporado com uso de betoneira, o material foi acondicionado em recipientes retangulares de zinco galvanizado (30 x 30 x 100 cm). Estes foram cobertos por uma lona transparente com espessura de 200 micras e expostos à luz solar e raios ultra violetas por 15 dias consecutivos (Figura 6C). Posteriormente, retirou-se a lona deixando-se secar ao ar livre em período de baixa umidade relativa por aproximadamente 30 dias, estabilizando em 20 % de umidade (Figura 6D). A caracterização química do biossólido foi realizado segundo Embrapa (2011) (Tabela 3).



FIGURA 6. Processo de eliminação de patógenos do lodo de esgoto. Resíduo sólido centrifugado (A); tratamento com cal hidratada (B); exposição a raios ultra violetas (C) e secagem ao ar livre (D).

Fonte: (O autor, 2015).

TABELA 3. Caracterização química do biossólido na Base Seca a 110°C.

pH CaCl ₂	UT	NT	MOT	CT	RMT	C/N	P	K	Ca	Mg
8,10	10,9	0,9	49,9	27,7	50,67	28/1	2,80	0,3	8,25	2,48
Densidade g cm ⁻³	B	Na	Mn	Cu	Zn	Fe	Cd	Hg	Cr	Ni
0,66	10	201	209	135	1042	27236	1,4	0,7	931	250

UT = Umidade Total; NT = Nitrogênio Total; MOT = Matéria Orgânica; CT = Carbono Total; RMT = Resíduo Mineral Total. N - [N Total] = Digestão Sulfúrica. P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn = digestão nitro Perclórico. B = Colorimétrico Azometina-H. Metodologias baseadas em Embrapa (2011).

Para preparo da formulação 04-21-07 + (0,3 % N; 1,1% P; 0,1 % K; 3,2 % Ca; 1,0 %Mg; 0,004 % B; 0,08 % Na; 0,08 % Mn; 0,05 % Cu; 0,4 % Zn; 10,7 % Fe; 0,0005 % Cd; 0,002 % Hg; 0,4 % Cr e 0,1 % Ni), tomou-se por base a composição do biossólido e a exigência de adubação da cultura no plantio. Foi homogeneizado 39,3 % de

biossólido, 12,2 % de cloreto de potássio (58 % K_2O) farelado, 47 % de fosfato monoamônico (12 % N e 44 % de P_2O_5) farelado e 1,5 % de água.

Para preparo da formulação 07-00-28 + 0,7% de B + (0,3 % N; 0,9 % P; 0,1 % K; 2,5 % Ca; 0,8 % Mg; 0,003 % B; 0,06 % Na; 0,06 % Mn; 0,04 % Cu; 0,3 % Zn; 8,4 % Fe; 0,0004 % Cd; 0,002 % Hg; 0,3 % Cr e 0,08 % Ni), tomou-se por base a composição do biossólido e na exigência de adubação da cultura em cobertura. Foi homogeneizado 31 % de biossólido, 15 % de uréia polimerizada (45 % N), 48,3 % de cloreto de potássio farelado, 4,2 % de ácido bórico e 1,50 % de água (Figura 7).



FIGURA 7. Composição do fertilizante organomineral: biossólido (escuro), uréia (rósea), cloreto de potássio (vermelho) e ácido bórico (branco).

Fonte: (O autor, 2016).

Foi utilizado bioestimulante Stimulate[®] contendo $0,09 \text{ g dm}^{-3}$ de cinetina, $0,05 \text{ g dm}^{-3}$ de ácido indol-3-ilbutírico e $0,05 \text{ g dm}^{-3}$ de ácido giberélico via inoculação ($0,75 \text{ L ha}^{-1}$) e volume de calda de 100 L ha^{-1} sobre o tolete no sulco de plantio (Figura 8).



FIGURA 8. Inoculação de bioestimulante sobre mudas de cana-de-açúcar.

Fonte: (O autor, 2016).

2.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em esquema de blocos casualizados em fatorial $5 \times 2 + 1$ sendo cinco doses de FOM com e sem bioestimulante mais um adicional de FM, em quatro repetições.

As unidades experimentais corresponderam a 10,0 m de comprimento x 9,0 m de largura, compostas por seis linhas de cana-de-açúcar em espaçamento de 1,5 m. A área útil foi composta pelas quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade, totalizando 48 m². Os carregadores foram espaçados de 3,0 m entre parcelas e blocos.

As combinações das doses dos tratamentos foram em função da recomendação de adubação de plantio e cobertura para cada localidade, consistindo 100 % da recomendação com a fonte mineral e 0; 60; 80; 100 e 120 % da recomendação com oFOM (Com e Sem Bioestimulante).

Para controle das plantas infestantes foi utilizado os herbicidas diuron, hexazinona e MSMA nas doses de 2500; 330 e 2370g i.a. ha⁻¹, respectivamente, com vazão de calda de 300 L ha⁻¹. O controle de formigas e cupins foi realizado com o ingrediente ativo fipronil, aplicado sobre as mudas no sulco de plantio com dosagem de 2,5 g ha⁻¹. Posteriormente, o sulco com as mudas foram cobertos com solo. Aos 120 dias após plantio (DAP) foi realizado o quebra lombo.

2.5 As avaliações

2.5.1 Crescimento e desenvolvimento

Aos 30, 60, 90, 120, e 150 DAP foram avaliados o perfilhamento e o percentual de cobertura vegetal das plantas sobre o solo. Aos 60, 90, 120, e 150 DAP avaliou-se a área foliar por perfilho, diâmetro do colmo e altura de plantas.

O percentual de cobertura vegetal foi realizado com fotografias a 1,5 m de altura a partir da base da planta, sobre um retângulo de madeira com dimensões de 1,0 m x 1,5 m no centro da linha (Figura 9A). Posteriormente, as fotos foram analisadas pelo

software SisCob v1.0 (Figura 9B), determinando o percentual de cobertura das plantas de cana sobre o solo (JORGE e SILVA, 2009).



FIGURA 9: Fotografia capturada a 1,5 m de altura da sobre gabarito de 1,0 x 1,5 m (A); fotografia analisada pelo software SisCob v1.0.

Fonte: (O autor, 2016).

Foi realizada a contagem do número de perfilhos em oito metros centrais das quatro linhas úteis. O diâmetro foi determinado com paquímetro digital há 10 cm a partir da superfície do solo. Para a altura utilizou-se uma trena medindo-se da base da planta à extremidade da folha mais alta.

A área foliar foi mensurada utilizando-se o medidor de área foliar CID - Bio Science Modelo: CI - 203. Inicialmente, em cada época escolheu-se aleatoriamente dez Plantas da Área Experimental (PAE). Mensurou-se a área foliar total média das mesmas. Anotou-se a Área Foliar da folha +1 em dez folhas das dez Plantas da Área Experimental (AFP AE) e estabeleceu a média. Mediu-se a área foliar da folha +1 nos tratamentos (AFT) e estabeleceu a média.

$$\text{Área foliar (cm}^2\text{)} = \frac{\text{Média AFP AE} * \text{Média PAE}}{\text{Média AFT}}$$

O percentual de cobertura vegetal, diâmetro, altura e área foliar foram avaliadas em 12 plantas da parcela em oito metros centrais das quatro linhas úteis.

2.5.2 Biometria e rendimento

Foi realizada a contagem final do número de colmos em oito metros centrais das quatro linhas úteis. O diâmetro foi determinado com paquímetro digital na altura do terceiro colmo ascendente. Para a altura utilizou-se uma trena medindo-se a partir do corte na base do colmo à extremidade oposta do corte.

Foi avaliado a produtividade ($t\ ha^{-1}$) no momento da colheita aos 370 DAP. A colheita foi realizada manualmente cortando-se 8,0 m da parcela sendo 2,0 m em cada linha útil. O feixe de cana foi pesado com dinamômetro de pesagem marca Técnica mod. D-5000 e capacidade de pesagem 2000 kg x 200 g (Figura 10).



FIGURA 10: Pesagem do feixe de cana com dinamômetro de capacidade de pesagem máxima de 2000 kg e mínima de 0,2 kg.

Fonte: (O autor, 2016).

2.5.3 Qualidade do caldo

Aos 370 dias após o plantio, realizou-se o corte manual para avaliação das variáveis tecnológicas. Amostrou-se três colmos aleatórios em cada linha útil. Foi amostrado quatro linhas totalizando 12 colmos em cada unidade experimental. Os feixes foram enviados ao laboratório de análise tecnológica. Determinou-se por refratometria o teor aparente de sólidos solúveis presentes no caldo (Brix%) da cana. A pureza foi determinada pela relação $Pol\% \text{ cana} / Brix \text{ cana} \times 100$. A polarização (Pol%) da cana e a (Fibra%) da cana foram determinadas pelo método baseado na regressão linear com o

peso do bolo úmido (PBU) (CONSECANA, 2006). Os açúcares redutores totais (ART) da cana e a produtividade de litros de etanol foram determinados segundo a metodologia vigente no SPCTS (Sistema de Pagamento da cana-de-açúcar), pelo teor de sacarose descrita em Fernandes (2011). Obteve-se a produtividade de açúcar (TPH) por meio do produto entre a produtividade de colmos (TCH) conforme sugestões de Santos (2011), e a concentração de sacarose (Pol% cana) correspondente a cada parcela, dividido por 100.

2.6 Análise estatística

Foram feitos testes de pressuposições da ANOVA referente à normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e aditividade de blocos a 1% de probabilidade pelo software IBM SPSS Statistics versão 20.0. (MARÔCO, 2011). Não atendendo as pressuposições os dados foram transformados com \sqrt{x} . Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), realizada pelo teste F, a 5% de probabilidade. As médias dos fatores com e sem bioestimulante foram comparadas pelo teste de Tukey e a comparação do FM e FOM através do teste de Dunnett a 0,05 de significância pelo software Assistat 7.7 Beta (SILVA e AZEVEDO, 2009). O ajuste das equações de regressão foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão a 5% de probabilidade pelo teste F e no maior coeficiente de determinação (R^2) Sigma Plot for Windows (Systat Inc. Chicago, IL, EUA) versão 12.0. Foi realizada análise conjunta entre LVAd e LAd utilizando o software Genes 5.1 (CRUZ, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.Crescimento e desenvolvimento

3.1.1 Perfilhamento

Não houve interação significativa entre as doses com e sem bioestimulante e o fertilizante mineral para nenhuma das variáveis dependentes estudadas em todas as épocas.

O perfilhamento da cana-de-açúcar fertilizado com organomineral a base de biossólido e a fonte mineral diferiram apenas no LAd (Tabela 4). Houve diferenças de perfilhamento na presença e ausência de bioestimulante em ambas as áreas. No município de Prata, o FOM no percentual de 100 e 120 % da adubação com bioestimulante aos 30, 60 e 150 DAP promoveu maior perfilhamento que a adubação mineral (100 % da adubação). Ainda no solo em Prata, o bioestimulante aumentou o perfilhamento aos 60 e 120 DAP. Nota-se que em LAd o perfilhamento reduziu dos 90 para 120 e 150 DAP. Isso foi em função de operação de "quebra-lombo", que é o nivelamento do solo no centro das linhas onde ocorre uma amontoa nas plantas de cana-de-açúcar. Com esse trato cultural muitos perfilhos são cobertos por uma fina camada de solo reduzindo o número de perfilhos visíveis. A maioria desses perfilhos cobertos conseguem ressurgir e retomar o crescimento. A realização do quebra-lombo é fundamental para a realização das operação com máquinas deixando o solo nivelado.

No solo mais fértil com bioestimulante o perfilhamento foi maior aos 90, 120 e 150 DAP. Este efeito deve-se às plantas alcançarem maior desenvolvimento e expansão radicular na presença dos bioestimulantes vegetais. O desenvolvimento do sistema radicular é favorecido pelo aumento da divisão celular e organogênese. O bioestimulante favorece ainda a mediação das respostas das plantas aos fatores extrínsecos, controlando a recepção de luz na parte aérea, água e nutrientes para as raízes. Ainda, contribuem com a formação de gemas e expansão da área foliar e assim aumentando a taxa fotossintética (KOPRINA et al., 2016). Magalhães et al. (2016), estudando o crescimento inicial da mandioca sob efeito de bioestimulante vegetal, concluíram que há maior crescimento da planta com o uso do bioestimulante.

TABELA 4. Perfilhamento da cana-de-açúcar por metro linear em cinco épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência de bioestimulante e FM em LVAd e LAd.

Bioestimulante	-----Percentual da adubação com organomineral -----					
	0	60	80	100	120	Media
LAd - Prata						
----- 30 DAP -----						
Sem	21,7	24,4	23,4	26,1	24,9	24,1 A
Com	24,5	25,9	25,5	28,0*	26,1	26,0 A
Fertilizante Mineral = 19,9						
CV (%)=12; DMS _{Bioestimulante} = 1,97; DMS _{Mineral} = 6,23; W= 0,50 ; F= 0,01** ; F'= 0,24						
----- 60 DAP -----						
Sem	31,3	32,2	31,7	32,2	31,4	31,4 B
Com	32,1	33,4	34,6	37,9*	37,1*	35,0 A
Fertilizante Mineral = 30,5						
CV (%)=7; DMS _{Bioestimulante} = 1,62; DMS _{Mineral} = 5,13; W= 0,88 ; F= 0,04 ; F'= 0,20						
----- 90 DAP -----						
Sem	25,7	31,2	30,2	32,1	31,3	30,1 A
Com	27,6	32,4	31,7	33,8	31,2	31,3 A
Fertilizante Mineral = 230,7						
CV (%)=16; DMS _{Bioestimulante} = 3,18; DMS _{Mineral} = 10,06; W= 0,29 ; F= 0,04 ; F'= 0,40						
----- 120 DAP -----						
Sem	10,0	12,5	13,8	15,4	15,9	13,5 B
Com	11,5	16,3	16,3	17,6	17,5	15,8 A
Fertilizante Mineral = 13,4						
CV (%)=15; DMS _{Bioestimulante} = 1,48; DMS _{Mineral} = 4,68; W= 0,47 ; F= 0,11 ; F'= 0,97						
----- 150 DAP -----						
Sem	12,6	16,8	20,8	20,0	19,4	17,9 A
Com	12,8	17,7	20,6	22,15*	24,3*	19,5 A
Fertilizante Mineral = 16,5						
CV (%)=13; DMS _{Bioestimulante} = 1,64; DMS _{Mineral} = 5,19; W= 0,49 ; F= 0,10 ; F'= 0,51						
LVAd - Morrinhos						
----- 30 DAP -----						
Sem	7,0	6,8	6,2	5,5	6,7	6,4 A
Com	7,0	6,8	7,9	7,7	6,3	7,1 A
Fertilizante Mineral = 6,4						
CV (%)=26; DMS _{Bioestimulante} = 1,16; DMS _{Mineral} = 3,67; W= 0,96 ; F= 0,35 ; F'= 0,06						
----- 60 DAP -----						
Sem	14,6	15,1	15,1	13,3	15,5	14,7 A
Com	15,4	15,4	15,7	15,7	13,7	15,2 A
Fertilizante Mineral = 14,96						
CV (%)=10; DMS _{Bioestimulante} = 1,01; DMS _{Mineral} = 3,20; W= 0,99 ; F= 0,50 ; F'= 0,89						
----- 90 DAP -----						
Sem	16,6	16,8	16,1	14,2	15,8	15,9 B
Com	18,2	18,1	18,6	19,1	16,2	18,1 A
Fertilizante Mineral = 15,9						
CV (%)=15; DMS _{Bioestimulante} = 1,73; DMS _{Mineral} = 5,49; W= 0,76 ; F= 0,28 ; F'= 0,12						
----- 120 DAP -----						

...continua...

TABELA 4, Cont.

Sem	18,6	21,1	19,2	18,1	19,4	19,3 B
Com	22,4	20,7	23,0	23,3	21,4	22,2 A
Fertilizante Mineral = 20,9						
CV (%)=20; DMS _{Bioestimulante} = 2,7; DMS _{Mineral} = 8,49; W= 0,29 ; F= 0,38 ; F'= 0,16						
----- 150 DAP -----						
Sem	28,5	30,6	26,5	28,1	27,9	28,3 B
Com	31,2	33,1	37,2	36,5	33,4	34,3 A
Fertilizante Mineral = 31,8						
CV (%)=18; DMS _{Bioestimulante} = 3,66; DMS _{Mineral} = 11,58; W= 0,77 ; F= 0,49 ; F'= 0,15						

Medias com letras distintas em cada época diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); *médias diferentes do mineral por Dunnett ($p < 0,05$). Testes de Shapiro-Wilk (W), Levene (F) e Aditividade de blocos (F'), valores em negrito indicam, resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade de blocos, respectivamente ($p < 0,01$). **Dados transformados com \sqrt{x} .

3.1.2 Cobertura vegetal

Não foi observada diferença significativa (Tabela 5), independente das épocas avaliadas, aos 30, 60, 90, 120 e 150 DAP e do fertilizante utilizado, seja ele mineral ou organomineral e os diferentes níveis de recomendação. Este resultado pode ser explicado em função do uso das reservas nutricionais do tolete para o crescimento inicial da cana-de-açúcar (FIGUEIRA et al., 2011). Além disso, as reservas nutricionais do solo podem ter colaborado para o desenvolvimento da cobertura inicial das plantas (REICHERT et al., 2016).

O bioestimulante resultou em diferenças sobre a cobertura do solo na área de LVAd somente aos 120 e 150 DAP. Na área de menor fertilidade não verificou-se efeitos significativos em nenhuma época de avaliação. Ressalta-se que o produto bioestimulante é fonte de citocinina, auxina e giberelina, estimulantes do crescimento meristemático. Deve-se considerar que as reservas hormonais presentes nos toletes oriundos da planta-mãe podem ter suprido as necessidades até um dado momento, a partir do qual os efeitos do produto bioestimulante passaram a ser efetivo. Silva et al. (2010) e Ferreira et al. (2013) relataram um aumento da produtividade de colmos e de açúcar em soqueira independente do genótipo, com o uso de biorreguladores vegetais. Os biorreguladores auxiliam a manutenção do equilíbrio hormonal da planta, tornando-a menos suscetível a estresses bióticos e abióticos (SHARMA et al., 2016).

TABELA 5. Cobertura vegetal (%) da cana-de-açúcar sobre o solo em cinco épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd.

Bioestimulante	-----Percentual da adubação com organomineral -----					
	0	60	80	100	120	Media
LAd - Prata						
----- 30 DAP -----						
Sem	0,87	1,51	0,68	0,52	0,94	0,90 A
Com	0,82	0,86	1,08	1,06	0,84	0,93 A
Fertilizante Mineral = 0,87						
CV (%)=41; DMS _{Bioestimulante} = 0,24; DMS _{Mineral} = 0,76; W= 0,004; F= 0,08 ; F'= 0,07						
----- 60 DAP -----						
Sem	11,34	9,36	9,15	9,65	12,60	10,4 A
Com	5,34	11,31	9,49	9,8	12,01	9,6 A
Fertilizante Mineral = 7,5						
CV (%)=28; DMS _{Bioestimulante} = 1,82; DMS _{Mineral} = 5,76; W= 0,07 ; F= 0,46 ; F'= 0,98						
----- 90 DAP -----						
Sem	15,16*	23,01	22,2	27,32	26,41	22,81 A
Com	19,17	23,76	25,51	24,92	30,5	24,77 A
Fertilizante Mineral = 24,62						
CV (%)=17; DMS _{Bioestimulante} = 2,65; DMS _{Mineral} = 8,38; W= 0,66 ; F= 0,78 ; F'= 0,01						
----- 120 DAP -----						
Sem	22,04	29,19	30,86	30,73	35,35	29,6 A
Com	17,61	28,71	34,75	36,06	41,48	31,7 A
Fertilizante Mineral = 22,73						
CV (%)=25; DMS _{Bioestimulante} = 4,92; DMS _{Mineral} = 15,57; W= 0,25 ; F= 0,37 ; F'= 0,05						
----- 150 DAP -----						
Sem	43,8	51,0	52,1	50,8	58,2	51,2 A
Com	47,9	45,7	55,4	55,8	56,1	52,2 A
Fertilizante Mineral = 46,1						
CV (%)=20; DMS _{Bioestimulante} = 6,70; DMS _{Mineral} =21,20; W= 0,03 ; F= 0,04 ; F'= 0,44						
LVAd - Morrinhos						
----- 30 DAP -----						
Sem	0,90	1,30	0,70	0,50	0,90	0,80 A
Com	0,80	0,70	1,10	1,10	0,80	0,90 A
Fertilizante Mineral = 0,9						
CV (%)=39; DMS _{Bioestimulante} = 0,2; DMS _{Mineral} = 0,7; W= 0,01 ; F= 0,04 ; F'= 0,17						
----- 60 DAP -----						
Sem	1,40	1,10	1,10	1,40	1,20	1,20 A
Com	1,00	1,40	1,90	1,20	1,30	1,20 A
Fertilizante Mineral = 1,1						
CV (%)= 37; DMS _{Bioestimulante} = 0,29; DMS _{Mineral} = 0,93; W= 0,43 ; F=; 0,37 ; F'= 0,25						
----- 90 DAP -----						
Sem	1,40	1,20	1,40	1,50	1,30	1,40 A
Com	1,60	1,90	1,40	2,00	1,20	1,60 A
Fertilizante Mineral = 1,2						
CV (%)=30; DMS _{Bioestimulante} = 0,29; DMS _{Mineral} = 0,29; W= 0,14 ; F= 0,54 ; F'= 0,57						
----- 120 DAP -----						

TABELA 5, Cont.

Sem	2,50	2,30	3,20	3,40	2,60	2,80 B
Com	4,60	3,50	3,90	5,40	5,40	4,60 A
Fertilizante Mineral = 4,7						
CV (%)=42; DMS _{Bioestimulante} = 1,05; DMS _{Mineral} = 3,31; W= 0,50 ; F= 0,07 ; F'= 0,32						
----- 150 DAP -----						
Sem	18,90	32,50	28,10	21,90	20,00	24,30 B
Com	31,30	36,00	40,00	45,80	34,50	37,50 A
Fertilizante Mineral = 29,9						
CV (%)=34; DMS _{Bioestimulante} = 6,80; DMS _{Mineral} = 21,5; W= 0,91 ; F= 0,13 ; F'= 0,20						

Medias com letras distintas em cada época diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); *médias diferentes do mineral por Dunnett ($p < 0,05$). Testes de Shapiro-Wilk (W), Levene (F) e Aditividade de blocos (F'), valores em negrito indicam, resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade de blocos, respectivamente ($p < 0,01$).

3.1.3 Área foliar

A área foliar da cana-de-açúcar apresentou significância em LAd comparando a FOM e FM (Tabela 6). Houve significância comparando a adubação com oFM apresentando 574.1 cm² e ausência de FOM aos 90 DAP apresentando 1106 cm² e aos 150 DAP desenvolvendo 1208.1 cm², sem e com bioestimulante, respectivamente. Nesta situação, a ausência de fertilizante foi limitante para o desenvolvimento da área foliar.

Contrariamente, a presença de fertilizante e bioestimulante proporcionou maior crescimento da planta. Infere-se ainda que aos 150 DAP em LAd, as reservas nutricionais do solo e do tolete encontram-se limitantes, refletindo em menor desenvolvimento da área foliar das plantas (CHERUBIN et al., 2015). Houve diferença de área foliar nos tratamentos sem e com bioestimulante somente na área em Morrinhos aos 60 DAP, apresentando 18,5 % maior, 125,3 cm² sem e 148,5 cm² com bioestimulante. Nesta situação pôde-se notar os efeitos hormonais do bioestimulante interferindo no maior desenvolvimento dos tecidos e foliares. Bioestimulantes contribuem com a formação de gemas e expansão da área foliar, aumentando assim a taxa fotossintética (KOPRINA et al., 2016). O crescimento inicial da cana-de-açúcar é favorecido das reservas nutricionais do tolete (CIVIERO et al., 2014) e também da fertilidade do solo e adubação. Nos primeiros 60 DAP ainda há surgimentos de brotações e desenvolvimento das primeiras folhas muito dependentes das reservas internas.

TABELA 6. Área foliar da planta (cm²) de cana-de-açúcar em quatro épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd.

Bioestimulante	-----Percentual da adubação com organomineral -----					
	0	60	80	100	120	Media
LAd - Prata						
----- 60 DAP -----						
Sem	228,3	284,2	294,8	285,7	292,1	277,0 A
Com	263,3	299,7	283,4	273,7	298,4	283,7 A
Fertilizante Mineral = 279,9						
CV (%)=10; DMS _{Bioestimulante} = 17,94; DMS _{Mineral} = 56,74; W= 0,91 ; F= 0,20 ; F'= 0,04						
----- 90 DAP -----						
Sem	574,1*	921,8	874,7	829,1	870,2	814,0 A
Com	693,1	795,8	837,3	888,4	946,4	832,2 A
Fertilizante Mineral = 808,6						
CV (%)=10; DMS _{Bioestimulante} = 55,38; DMS _{Mineral} = 175,12; W= 0,80 ; F= 0,45 ; F'= 0,10						
----- 120 DAP -----						
Sem	562,2	874,0	888,5	834,8	894,4	810,7 A
Com	697,9	816,0	875,3	934,6	1025,7	869,9 A
Fertilizante Mineral =797,8						
CV (%)=11; DMS _{Bioestimulante} = 63,41; DMS _{Mineral} = 200,53; W= 0,34 ; F= 0,004; F'= 0,05						
----- 150 DAP -----						
Sem	1106,0*	1928,1	2016,3	1925,5	1954,8	1786,1 A
Com	1208,1*	1828,3	1952,9	1884,9	2197,2*	1814,2 A
Fertilizante Mineral = 1867,2						
CV (%)=7; DMS _{Bioestimulante} = 86,2; DMS _{Mineral} = 272,5; W= 0,42 ; F= 0,15 ; F'= 0,91						
LVAd - Morrinhos						
----- 60 DAP -----						
Sem	106,5	133,5	151,3	114,2	121,2	125,3 B
Com	131,0	159,8	146,2	149,2	156,6	148,5 A
Fertilizante Mineral = 134,4						
CV (%)=25; DMS _{Bioestimulante} = 22,05; DMS _{Mineral} = 69,72; W= 0,83 ; F= 0,26 ; F'= 0,85						
----- 90 DAP -----						
Sem	141,9	171,5	178,6	150,4	150,0	158,4 A
Com	146,1	177,9	169,8	185,0	195,6	174,9 A
Fertilizante Mineral = 161,6						
CV (%)=17; DMS _{Bioestimulante} = 18,26; DMS _{Mineral} = 57,75; W= 0,44 ; F= 0,01 ; F'= 0,65						
----- 120 DAP -----						
Sem	241,4	287,8	296,2	305,9	291,1	284,5 A
Com	255,7	296,0	282,8	383,3	350,0	313,5 A
Fertilizante Mineral = 356,2						
CV (%)=21; DMS _{Bioestimulante} = 41,41; DMS _{Mineral} = 130,96; W= 0,19 ; F= 0,68 ; F'= 0,60						
----- 150 DAP -----						
Sem	760,3	906,7	933,6	963,6	967,1	906,2 A
Com	805,4	932,3	890,9	1157,3	1102,5	977,7 A
Fertilizante Mineral = 1047,2						
CV (%)=19; DMS _{Bioestimulante} = 120,14; DMS _{Mineral} = 379,94; W= 0,30 ; F= 0,61 ; F'= 0,67						

Medias com letras distintas em cada época diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); *médias diferentes do mineral por Dunnett ($p < 0,05$). Testes de Shapiro-Wilk (W), Levene (F) e Aditividade de blocos (F'), valores em negrito indicam, resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade de blocos, respectivamente ($p < 0,01$).

3.1.4 Diâmetro de colmo

O diâmetro de colmo da cana-de-açúcar fertilizado com FOM a base de biossólido e FM foram semelhantes tanto no experimento em Prata quanto em Morrinhos, exceto em Morrinhos aos 90 DAP (Tabela 7). Não houve significância comparando o FM e o FOM. Houve diferenças de diâmetro de colmo nas doses sem e com bioestimulante somente noLVAd aos 90 DAP.

O desenvolvimento dos colmos ocorrem a partir dos 150 DAP quando as primeiras folhas do terço inferior começam a senescer expondo o colmo (Ver tabela 11). Com o bioestimulante o diâmetro de colmo foi 7,7 % maior, 8,4 mm. Isso mostra que o bioestimulante auxilia o desenvolvimento celular das plantas. Aumenta-se a organogênese e multiplicação celular, potencializando a exploração das raízes no solo (FERREIRA et al., 2013). Ajudam a regular os processos bioquímicos, conferindo maior resistência a fatores bióticos e abióticos (SHARMA et al., 2016).

TABELA 7. Diâmetro (mm) de plantas de cana-de-açúcar em quatro épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd.

Bioestimulante	-----Percentual da adubação com organomineral -----					
	0	60	80	100	120	Media
LAd - Prata						
----- 60 DAP -----						
Sem	7,8	9,3	9,3	9,4	8,7	8,9 A
Com	8,5	9,1	8,7	8,9	8,9	8,8 A
Fertilizante Mineral = 8,0						
CV (%) ⁺ =9; DMS _{Bioestimulante} = 0,52; DMS _{Mineral} = 1,67; W= 0,01 ; F= 0,04 ; F'= 0,34						
----- 90 DAP -----						
Sem	11,2	14,5	14,2	14,3	13,5	13,5 A
Com	13,3	14,0	13,8	13,7	13,9	13,7 A
Fertilizante Mineral = 13,15						
CV (%)= 9; DMS _{Bioestimulante} = 0,84; DMS _{Mineral} = 2,65; W= 0,19 ; F= 0,12 ; F'= 0,45						
----- 120 DAP -----						
Sem	12,3	16,7	17,1	16,7	17,3	16,1 A
Com	13,9	15,7	16,1	17,1	17,6	16,1 A
Fertilizante Mineral = 16,3						

...continua...

TABELA 7, Cont.

CV (%)=8; DMS _{Bioestimulante} = 0,85; DMS _{Mineral} = 2,68; W= 0,06 ; F= 0,22 ; F'= 0,03						
----- 150 DAP -----						
Sem	16,7	19,6	19,8	18,8	19,3	18,8 A
Com	16,3	19,0	19,5	18,6	19,3	18,5 A
Fertilizante Mineral = 19,5						
CV (%)=9; DMS _{Bioestimulante} = 1,06; DMS _{Mineral} = 3,36; W= 0,58 ; F= 0,007; F'= 0,09						
LVAd - Morrinhos						
----- 60 DAP -----						
Sem	5,5	6,7	6,2	5,3	5,7	5,9 A
Com	5,7	6,1	6,2	6,9	6,0	6,2 A
Fertilizante Mineral = 6,6						
CV (%)=17; DMS _{Bioestimulante} = 0,66; DMS _{Mineral} = 2,10; W= 0,91 ; F= 0,01 ; F'= 0,16						
----- 90 DAP -----						
Sem	7,5	8,1	8,2	7,4	7,6	7,8 B
Com	8,0	8,4	8,0	8,8	8,6	8,4 A
Fertilizante Mineral = 7,9						
CV (%)=10; DMS _{Bioestimulante} = 0,51; DMS _{Mineral} = 1,62; W= 0,99 ; F= 0,05 ; F'= 0,20						
----- 120 DAP -----						
Sem	8,3	9,4	9,6	9,2	9,5	9,2 A
Com	8,5	9,3	9,1	10,0	10,4	9,5 A
Fertilizante Mineral = 9,0						
CV (%)= 15; DMS _{Bioestimulante} = 0,93; DMS _{Mineral} = 2,95; W= 0,49 ; F= 0,13 ; F'= 0,42						
----- 150 DAP -----						
Sem	13,0	15,7	16,8	14,5	15,6	15,2 A
Com	14,6	16,6	16,4	16,6	17,7	16,4 A
Fertilizante Mineral = 15,5						
CV (%)=15; DMS _{Bioestimulante} = ; DMS _{Mineral} = 5,01; W= 0,05 ; F= 0,03 ; F'= 0,006						

Medias com letras distintas em cada época diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); *médias diferentes do mineral por Dunnett ($p < 0,05$). Testes de Shapiro-Wilk (W), Levene (F) e Aditividade de blocos (F'), valores em negrito indicam, resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade de blocos, respectivamente ($p < 0,01$). ** +Dados transformados com \sqrt{x} .

3.1.5 Altura da planta

A altura de cana-de-açúcar fertilizado com organomineral a base de biossólido e a adubação mineral foram diferentes apenas para a área em Prata (Tabela 8). O FOM com percentual de adubação de 60 e 120 % sem bioestimulante aos 60 DAP promoveu maior altura que a adubação mineral referente a 100 %. Na ausência de fertilizante e sem bioestimulante aos 90, 120 e sem e com bioestimulante aos 150 DAP, a adubação mineral promoveu maior altura de plantas. Ocorreu redução das reservas nutricionais do tolete da cana e do solo, causando menores alturas nos tratamentos sem fertilizantes e com maior tempo pós plantio (CIVIERO et al, 2014 e CHERUBIN et al., 2015).

Houve diferenças de altura de plantas nos tratamentos sem e com bioestimulante somente na área em Morrinhos, mais precisamente aos 150 DAP. Isso está relacionado ao maior desenvolvimento, em geral, das células, tecidos e órgãos. Ou seja, o composto hormonal (cinetina, ácido indol-3-ilbutírico e ácido giberélico) contribuiu para suportar as condições restritas de fertilidade do solo (FERREIRA et al., 2013). Assim, as plantas alcançaram maior desenvolvimento e expansão radicular na presença do composto hormonal. O bioestimulante favorece ainda a mediação das respostas das plantas aos fatores extrínsecos, controlando a recepção de luz na parte aérea, água e nutrientes para as raízes. Ainda, contribuem com a formação de gemas e expansão da área foliar, aumentando assim a taxa fotossintética (KOPRINA et al., 2016).

Tabela 8. Altura de plantas (cm) de cana-de-açúcar durante quatro épocas em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd.

Bioestimulante	-----Percentual da adubação com organomineral -----					
	0	60	80	100	120	Media
LAd - Prata						
----- 60 DAP -----						
Sem	56,7	68,8*	67,5	65,7	71,3*	66,0 A
Com	60,9	66,2	66,0	66,0	68,5	65,5 A
Fertilizante Mineral = 62,3						
CV (%)= 5; DMS _{Bioestimulante} = 1,99; DMS _{Mineral} = 6,31; W= 0,57 ; F= 0,79 ; F'= 0,08						
----- 90 DAP -----						
Sem	73,1*	91,6	93,6	89,9	95,1	88,6 A
Com	82,3	91,3	89,4	98,1	94,6	91,1 A
Fertilizante Mineral = 89,3						
CV (%)=8; DMS _{Bioestimulante} = 4,84; DMS _{Mineral} = 15,31; W= 0,71 ; F= 0,03 ; F'= 0,40						
----- 120 DAP -----						
Sem	90,9*	122,8	129,2	129,0	135,1	121,4 A
Com	106,6	122,3	127,5	136,3	141,4*	126,8 A
Fertilizante Mineral = 120,3						
CV (%)= 7; DMS _{Bioestimulante} = 5,88; DMS _{Mineral} = 18,62; W= 0,56 ; F= 0,02 ; F'= 0,20						
----- 150 DAP -----						
Sem	136,4*	161,5	169,8	172,9	175,8	163,3 A
Com	145,2*	166,9	171,0	169,6	176,6	165,8 A
Fertilizante Mineral = 169,5						
CV (%)=6; DMS _{Bioestimulante} = 6,58; DMS _{Mineral} = 20,83; W= 0,34 ; F= 0,09 ; F'= 0,34						
LVAd - Morrinhos						
----- 60 DAP -----						
Sem	34,2	37,1	38,8	33,7	34,8	35,7 A
Com	37,2	37,8	37,9	39,5	41,3	38,7 A
Fertilizante Mineral = 36,4						
CV (%)=1,5; DMS _{Bioestimulante} = 3,75; DMS _{Mineral} = 11,87; W= 0,66 ; F= 0,21 ; F'= 0,08						
----- 90 DAP -----						

TABELA 8, Cont.

...continua...

Sem	35,3	37,5	39,7	34,3	35,6	36,5 A
Com	38,1	36,3	38,4	41,8	42,4	39,4 A
Fertilizante Mineral = 38,2						
CV (%)=12; DMS _{Bioestimulante} = 3,00; DMS _{Mineral} = 9,51; W= 0,34 ; F= 0,04 ; F'= 0,37						
----- 120 DAP -----						
Sem	56,5	66,6	64,3	58,1	57,9	60,7 A
Com	60,4	67,6	63,0	78,0	74,8	68,8 A
Fertilizante Mineral = 65,8						
CV (%)=20; DMS _{Bioestimulante} = 8,39; DMS _{Mineral} = 26,54; W= 0,72 ; F= 0,14 ; F'= 0,12						
----- 150 DAP -----						
Sem	104,6	119,5	120,1	116,4	121,4	116,4 B
Com	113,7	126,8	124,5	134,1	134,9	126,8 A
Fertilizante Mineral = 118,6						
CV (%)=12; DMS _{Bioestimulante} = 9,96; DMS _{Mineral} = 31,51; W= 0,78 ; F= 0,66 ; F'= 0,59						

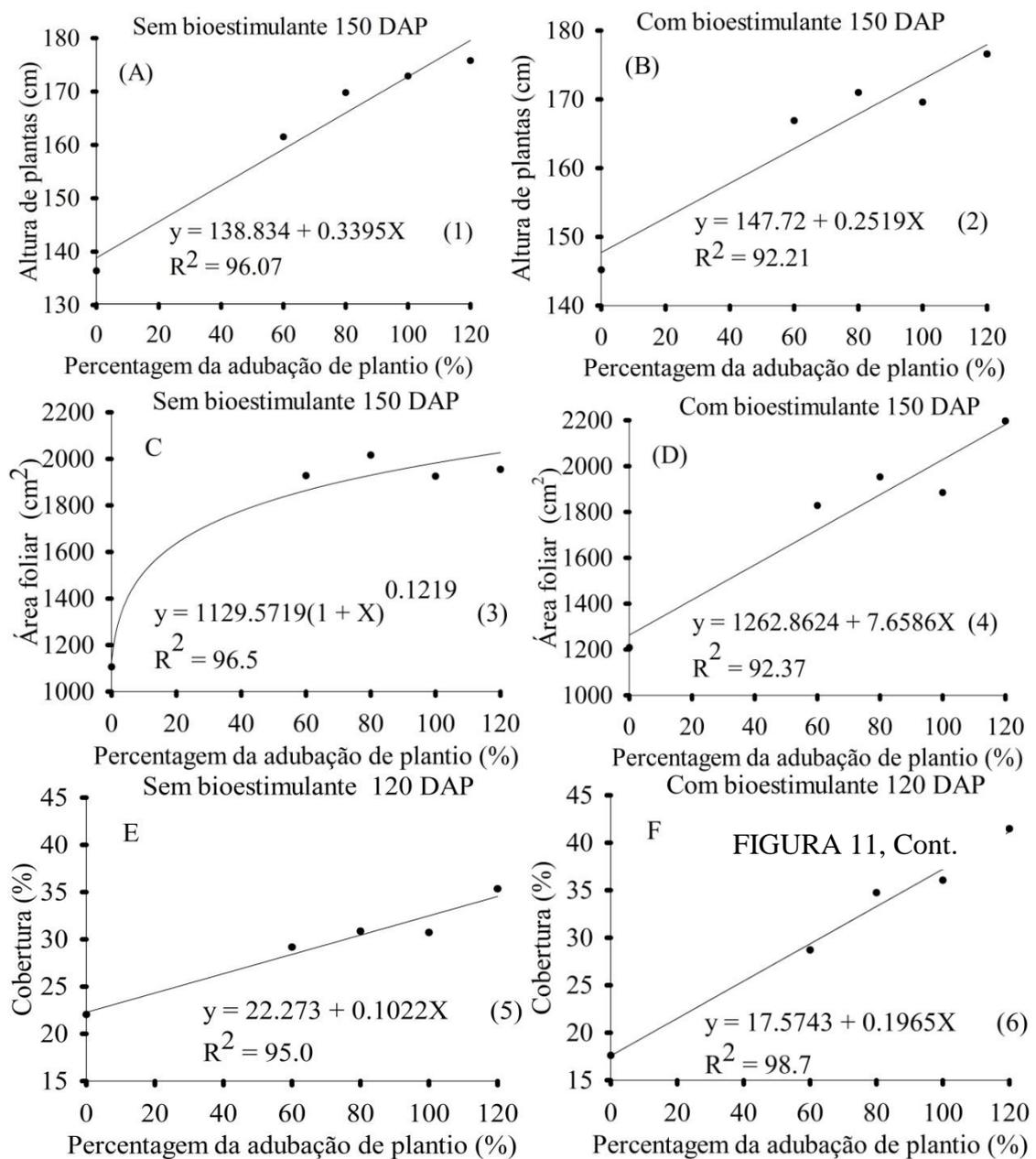
Medias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *médias diferentes do mineral por Dunnett ($p < 0,05$). W, F e F': pressuposições dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Aditividade de blocos onde valores em negrito indicam, resíduos com distribuição anormal, variâncias heterogêneas e não aditividade de blocos, respectivamente, todos a 0,01 de significância.

3.1.6 Efeito de doses de FOM

Os diferentes percentuais de FOM na adubação de plantio com FOM promoveram incrementos na cobertura vegetal, perfilhamento, área foliar, diâmetro e altura de plantas de cana-de-açúcar somente para o LAd (Figura 4). Os modelos de regressão 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10 apresentaram incrementos lineares e coeficiente de determinação (R^2) maiores que 88,8 %. A equação polinomial quadrática 7 encontraram-se próximo ao ponto máximo de resposta da maior dose de adubação (120 % da recomendação de plantio). A equação 3 power 2, parameter modified II, apresentou um desenvolvimento significativo da área foliar aos 150 DAP sem bioestimulante. Aumentando-se o percentual de adubação conforme as doses houve maior desenvolvimento da área foliar, porém a taxa de desenvolvimento é reduzido com o fornecimento das maiores doses.

É notório a resposta da cultura ao crescente fornecimento do FOM a base de biofósforo. Um solo de baixa fertilidade possui um baixo poder tamponante de nutriente (CLARHOLM e SKYLLBERG, 2013; JIANG et al., 2016). Assim, ao adicionar uma quantidade de fertilizantes no solo, rapidamente haverá acentuada disponibilização e absorção dos nutrientes pelas plantas. Da mesma forma, com início de um déficit nutricional no solo as plantas rapidamente terão seu desenvolvimento afetado, reduzindo o crescimento (GHIBERTO et al., 2015).

Ao contrário, na área de LVAd o poder tamponante do mesmo é maior (CLARHOLM e SKYLLBERG, 2013; JIANG et al., 2016). Havendo adição de fertilizantes as plantas irão absorver os nutrientes conforme as condições adequadas e as necessidades próprias. A maior fertilidade do solo é suficiente para garantir o adequado desenvolvimento das plantas sem a necessidade de adição de fertilizantes (GOLDEMBERG et al., 2008). Para garantir o alto poder tamponante do solo, ressalta-se a necessidade de sempre estar repondo o conteúdo nutricional do solo com fertilizantes, principalmente orgânicos ou FOMs (KIRKELS et al., 2014).



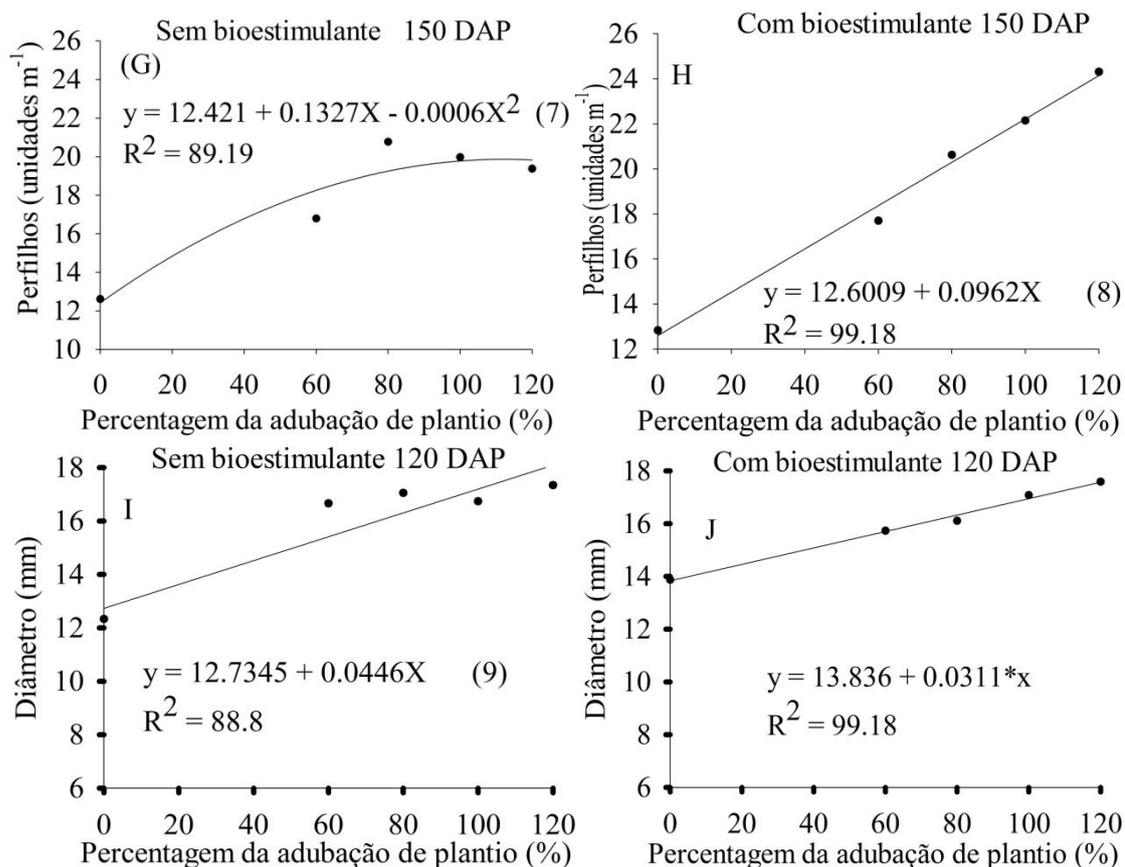


FIGURA 11. Modelos de regressão ajustados a 0.05, para área foliar (A - sem e B - com), cobertura vegetal (C - sem e D - com), altura de plantas (E - sem e F - com), perfilhamento (G - sem e H - com) e diâmetro de colmo (I - sem e J - com) em função de doses de organomineral a base de biossólido com e sem bioestimulante em LAd aos 150 DAP. (“...continua...”)

3.1.7 Comparativo entre LVAd e LAd

Não houve interação entre os tratamentos e as duas áreas. A cobertura vegetal, área foliar, diâmetro e altura de plantas da cana-de-açúcar cultivada em LAd apresentaram maior desenvolvimento (Tabela 9). O perfilhamento de plantas foi maior para o LVAd em Morrinhos. O quebra-lombo mecanizado na área experimental de Prata provocou maior cobertura de perfilhos. Já o "quebra-lombo" na área de Morrinhos, feito com enxada, provocou menor cobertura de perfilhos. O nítido contraste entre os ambientes cultivados está nas ocorrências geográficas impostas nas figuras 1 e 4, mencionadas anteriormente. Houve uma precipitação no período inicial da cultura na área em Prata de 456 mm. Para a área em Morrinhos a precipitação foi de 416 mm até os 150 DAP. O plantio do experimento em Prata foi realizado em solo situado distante

200 metros acima da nascente de água, mantendo-se com umidade adequada. Isso permitiu o melhor desenvolvimento das plantas.

O contrário ocorreu em Morrinhos. Neste local, o plantio foi realizado em um local bem drenado. A cana iniciou a brotação e ficou com o crescimento paralisado por 60 dias, atrasando o desenvolvimento. A água no solo é essencial para o desenvolvimento do vegetal pois, além das necessidades fisiológicas, favorece os mecanismos de transportes e aumenta os nutrientes disponíveis na solução do solo (TAIZ e ZEIGER, 2013).

No LA ocorreu uma maior resposta da planta ao fornecimento do fertilizante. Em solo fértil a dinâmica é diferente comparada a que ocorre no ambiente de menor fertilidade. A absorção de nutrientes ocorre de forma intensa conforme demanda da planta ou até mesmo com absorção de luxo. Solos de maior fertilidade possuem poder tampão maior. Assim, a oferta de nutrientes para as plantas são maiores e constantes promovendo o melhor desenvolvimento das plantas (YAN et al., 2016).

TABELA 9. Perfilamento, cobertura vegetal, área foliar, diâmetro e altura de plantas de cana-de-açúcar cultivada em função do percentual da adubação de plantio com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAdaos 150 DAP.

Solos	----- Percentual de adubação de plantio com organomineral -----										FM 100 %
	-----0-----		-----60-----		-----80-----		-----100-----		-----120-----		
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	
Perfilamento (unidades m ⁻¹)											
LAd	12,6 b	12,8 b	16,7 b	17,7 b	20,8 a	20,6 b	19,9 b	22,1 b	19,3 b	24,3 b	16,4 b
LVAd	28,4 a	31,2 a	30,6 a	33,1 a	26,5 a	37,2 a	28,1 a	36,5 a	27,9 a	33,4 a	31,7 a
CV (%) = 17; DMS _{Ambientes} = 6,21											
Cobertura vegetal (%)											
LAd	43,8 a	47,9 a	51,0 a	45,6 a	52,1 a	55,4 a	50,7 a	55,8 a	58,1 a	56,1 a	46,1 a
LVAd	18,9 b	31,2 b	32,4 b	35,9 a	28,1 b	39,8 b	21,9 b	45,8 a	20,0 b	34,4 b	29,8 b
CV (%) = 25; DMS _{Ambientes} = 14,8											
Área foliar (cm ²)											
LAd	1106 a	1208 a	1928 a	1828 a	2016 a	1952 a	1925 a	1884 a	1954 a	2197 a	1867 a
LVAd	760 b	805 b	906 b	932 b	933 b	890 b	963 b	1157 b	967 b	1102 b	1047 b
CV (%) = 11; DMS _{Ambientes} = 0,11											
Diâmetro (mm)											
LAd	16,7 a	16,3 a	19,6 a	19,0 a	19,7 a	19,5 a	18,8 a	18,6 a	19,2 a	19,2 a	19,6 a
LVAd	13,0 b	14,6 b	15,7 a	16,5 b	16,8 b	16,4 a	14,5 a	16,6 b	15,6 a	17,7 a	15,5 b
CV (%) = 12; DMS _{Ambientes} = 2,95											
Altura de plantas (cm)											
LAd	136 a	145 a	161 a	166 a	169 a	170 a	172 a	169 a	175 a	176 a	169 a
LVAd	104 b	113 b	119 b	126 b	120 b	124 b	116 b	134 b	121 b	134 b	118 b
CV (%) = 9; DMS _{Ambientes} = 18											

Medias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

3.2 Biometria e rendimento

3.2.1 Estudo da área de LVAd

No experimento instalado em Morrinhos - GO (Tabela 10), a maior fertilidade do solo promoveu resultados bastante diferentes em relação ao observado no município de Prata - MG. Deve-se ainda considerar que, anteriormente ao experimento, a área foi cultivada por mais de uma década com milho e soja em sucessão, tendo recebido fosfatagem e o manejo de roçagem, dessecação e incorporação de *Crotalaria juncea*, antes do plantio da cana-de-açúcar. Assim, mesmo na ausência de adubação, foram obtidos a mesma produtividade, altura e diâmetro e número de colmos observados no tratamento com FM. Solos de melhor fertilidade possuem maior resistência em sofrer alterações ou esgotamento dos nutrientes no solo (DOAN et al., 2015). Assim, a oferta de nutrientes para as plantas são maiores e constantes, promovendo o melhor desenvolvimento das mesmas (YAN et al., 2016). Chama a atenção o bom desempenho das parcelas que receberam FOM com dosagem de 60% da recomendação, não diferindo da adubação mineral fornecida na dose de 100%. Características inerentes à tecnologia de produção conferem ao FOM a propriedade de liberação controlada, com possibilidade de redução de lixiviação, permanecendo à disposição do sistema radicular por um maior período de tempo (KOMINKO et al., 2017). Em tese, isto poderia contribuir para explicar a maior eficiência dos FOMs em experimentos com diferentes culturas como feijão, milho, soja e pastagem.

Nas condições de Morrinhos - GO ficou evidenciado efeito significativo do bioestimulante no aumento médio do rendimento em produtividade da cultura em 13,4 t ha⁻¹ comparando com a ausência, enquanto que para os demais parâmetros não houve ganhos significativos. O desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea é favorecido pelo aumento da divisão celular e organogênese dos tecidos. Assim, há maior produção de fotoassimilados e conseqüentemente produtividade. O bioestimulante auxilia respostas à adaptações das plantas aos fatores extrínsecos, mediando a recepção de luz na parte aérea, melhorando a absorção de água e nutrientes para as raízes (KOPRNA et al., 2016). Silva et al. (2010) e Ferreira et al. (2013) relataram acréscimos da produtividade de tonelada de colmos por hectare e de açúcar em soqueira independente do genótipo, com o uso de biorreguladores vegetais. Os biorreguladores auxiliam a manutenção do equilíbrio hormonal da planta, tornando-a menos suscetível a estresses bióticos e abióticos (SHARMA et al., 2016).

TABELA 10. Produtividade, altura, diâmetro de colmo e número de colmo em função do percentual de adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd.

Bioestimulante	-----Percentual da adubação com organomineral -----					
	0	60	80	100	120	Media
----- Produtividade (t ha ⁻¹) -----						
Sem	108,3	119,5	123,1	123,5	126,8	120,3 B
Com	133,7	128,1	136,6	138,5	143,5	136,1 A
Fertilizante Mineral = 127,7						
CV (%)=8; DMS _{Bioestimulante} =6,70; DMS _{Mineral} = 21,19						
----- Altura de colmo (m) -----						
Sem	2,24	2,32	2,50	2,45	2,18	2,34 A
Com	2,42	2,45	2,27	2,47	2,42	2,41 A
Fertilizante Mineral = 2,40						
CV (%)=7; DMS _{Bioestimulante} = 0,11; DMS _{Mineral} = 0,36						
----- Diâmetro de colmo (mm) -----						
Sem	27,77	29,19	28,91	28,64	29,0	28,70 A
Com	28,37	28,78	29,37	29,78	30,64	29,39 A
Fertilizante Mineral = 29,82						
CV (%)=4; DMS _{Bioestimulante} = 0,84; DMS _{Mineral} = 2,66						
----- Número de colmo (plantas m ⁻¹) -----						
Sem	11,43	12,09	11,90	10,85	11,50	11,55 A
Com	11,84	11,78	12,03	11,39	12,09	11,83 A
Fertilizante Mineral = 11,84						
CV (%)=9; DMS _{Bioestimulante} = 0,65; DMS _{Mineral} = 2,06						

Medias seguidas por letras distintas, na coluna, para cada variável, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *médias diferentes do mineral por Dunnett (p<0,05).

3.2.2 Estudo da área de LAd

No experimento instalado em LAd, cujo o nível de fertilidade do solo apresenta características químicas mais limitantes para a cultura da cana-de-açúcar em relação ao LVAd, a ausência de adubação promoveu reduções significativas na produtividade, altura e diâmetro de colmo e número de colmo em relação a adubação mineral (Tabela 11). Assim, enquanto a adubação mineral promoveu uma produtividade de 113,1 t ha⁻¹, na ausência desta, a produtividade foi de 53,9 e 62,2 t ha⁻¹ sem e com bioestimulante, respectivamente. Não houve diferenças para os demais percentuais de adubação. O desequilíbrio e a carência nutricional para os cultivos agrícolas é fator determinante para ocorrência de baixas produtividades (DOAN et al., 2015).

Tabela 11. Produtividade, altura, diâmetro e número de colmo em função do percentual de adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LAd.

Bioestimulante	-----Percentual da adubação com organomineral -----					
	0	60	80	100	120	Media
	----- Produtividade (t ha ⁻¹) -----					
Sem	53,9*	95,5	115,0	109,6	124,8	99,8 A
Com	62,3*	98,9	100,4	110,0	121,4	98,6 A
	Fertilizante Mineral = 113,1 CV (%)=15; DMS _{Bioestimulante} = 9,69; DMS _{Mineral} = 30,64					
	----- Altura de colmo (m) -----					
Sem	1,70*	2,30	2,47	2,44	2,41	2,26 A
Com	1,79*	2,36	2,49	2,33	2,44	2,28 A
	Fertilizante Mineral = 2,26 CV (%)=6; DMS _{Bioestimulante} =; DMS _{Mineral} = 0,30					
	----- Diâmetro de colmo (mm) -----					
Sem	22,49*	27,73	28,04	28,61	29,43	27,26 A
Com	22,98*	27,34	28,49	29,78	31,10	27,94 A
	Fertilizante Mineral = 29,82 CV (%)=4; DMS _{Bioestimulante} = 0,80; DMS _{Mineral} = 2,55					
	----- Número de colmo (plantas m ⁻¹) -----					
Sem	10,0	10,5	11,6	11,5	11,1	10,9 A
Com	9,5*	11,3	11,8	10,8	11,6	11,0 A
	Fertilizante Mineral = 11,5 CV (%)=7; DMS _{Bioestimulante} = 0,49; DMS _{Mineral} = 1,57					

Medias seguidas por letras distintas, na coluna, para cada variável, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *médias diferentes do mineral por Dunnett (p<0,05).

Ainda que se tenha observado índices de pluviosidade superiores aos de Morrinhos - GO (Figura 1), condição que favorece a maior eficiência da adubação, não foram verificados no experimento de Prata - MG diferenças significativas nos parâmetros avaliados entre o FM e o FOM em seus diferentes níveis. O menor poder tampão do solo passou a ser limitante na ausência de fertilizante (JIANG et al., 2016). Todavia, importante destacar que mesmo utilizando-se o FOM na dosagem de 60% da recomendação, houve redução apenas no diâmetro médio de colmo, quando comparado a adubação mineral, mantendo-se inalterados os demais fatores de produção (Tabela 11). Em contrapartida, mesmo na dose de 120%, o FOM não resultou em ganhos significativos em relação a adubação mineral. A partir da taxa de 60 % foi suficiente para garantir o bom desenvolvimento das plantas, produzindo semelhante a taxa de 120 %. Solos de alta fertilidade podem garantir boa ou melhor produtividade da cana-de-açúcar (GOLDEMBERG et al., 2008). Kirkels et al. (2014) enfatizam a necessidade de

repor nutrientes no solo em função da extração pelas colheitas e assim manter níveis próximos dos ideais para cultivo.

Nas condições de clima e solo do município de Prata - MG não foi verificado efeito significativo decorrente da aplicação do bioestimulante na avaliação realizada aos 370 DAP sobre as características avaliadas. O composto hormonal (cinetina, ácido 4-indol-3-ilbutírico e ácido giberélico) não contribuiu para aumentar a eficiência de absorção de nutrientes da solução do solo. Ao contrário, Ferreira et al. (2013) afirmam que o composto hormonal melhora a absorção de nutriente e ajuda a suportar as condições restritas de fertilidade do solo.

3.2.3 Efeito de doses de FOM

Na área de LAd no município de Prata - MG, observa-se que as médias de produtividade (Figuras 12A e 12B) e diâmetro de colmo (Figuras 12E e 12F) com uso de bioestimulante ajustaram-se a regressões lineares crescentes. A máxima produtividade foi de 127,4 t ha⁻¹ sem bioestimulante e 121,48 t ha⁻¹ com bioestimulante, todos na dose de 120% da adubação. O maior diâmetro de colmo foi de 30,00 mm na ausência de bioestimulante e 31,17 mm na presença de bioestimulante, todos verificados na dose de 120% da recomendação de adubação de plantio e cobertura.

Excluídos efeitos de outros fatores como precipitação, temperatura, luminosidade, entre outros, em solos com baixa oferta de nutrientes ocorre respostas maciças à adubação fornecida. Isso ficou evidente pelo desempenho agrônômico de cana verde fertilizado com sulfato de amônio em um solo de planície costeira encontrado por (OLIVEIRA et al., 2017). A reposição de nutrientes é enfatizada por Kirkels et al. (2014) em função da extração pelas colheitas e assim manter níveis próximos do ideais para cultivo.

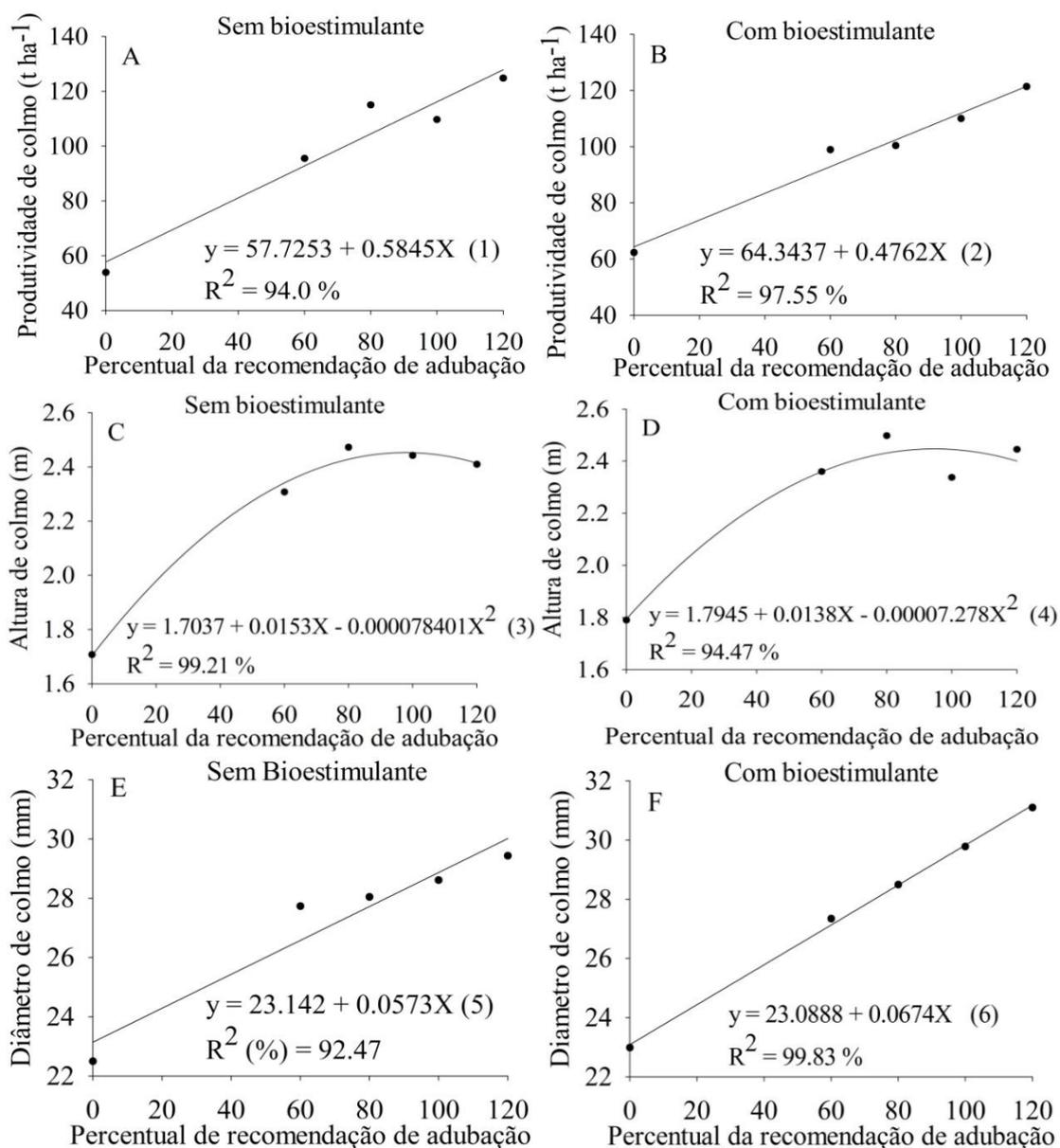


FIGURA 12. Modelos de regressão ajustados a 0.05, para produtividade, altura, e número de colmo em função de doses de FOM a base de biossólido com e sem bioestimulante em área de LAd.

As médias de altura de planta ajustaram-se a regressões quadráticas sem (Figura 12C) e com (Figura 12D) bioestimulante. Todavia, enquanto na ausência do bioestimulante a altura máxima de 2,45 m foi obtida na dosagem de 100 %, quando do uso do bioestimulante a máxima altura foi de 2,44 m na dosagem de 94,6 %. Justifica-se pelo inverso do acontecido na área em Morrinhos - GO. Ou seja, as respostas da cultura com a aplicação do bioestimulante ficam dependentes da disponibilidade de nutrientes na solução do solo. Desta forma, a maior produção de fotoassimilados e consequentemente produtividade da cana-de-açúcar fica dependente, dentre outros, de

melhor nutrição e da capacidade de absorção. A partir de então, o bioestimulante auxilia as plantas a suportar diversidades dos fatores extrínsecos (KOPRINA et al., 2016; SHARMA et al., 2016).

Ao contrário, não encontrou-se diferenças para percentuais de adubação no LVAd em Morrinhos - GO. Como já mencionado, as características texturais, histórico de cultivo, fosfatagem e cultivo de *Crotalaria juncea* melhorou e aumentou o poder tampão do solo, conferindo maior resistência em alterar os níveis de nutrientes disponíveis na solução do solo (DOAN et al., 2015).

3.2.4 Comparativo entre LVAd e LAd

Em LVAd as melhores condições do solo em fornecer nutrientes as plantas implicaram em diferenças significativas ($P \geq 0,05$) entre os ambientes para todos os parâmetros avaliados quando na ausência de adubação (Tabela 12). Destaca-se a produtividade que foi de 54,76 % superior no experimento instalado em LAd sem a aplicação do bioestimulante e 46,60% na presença do bioestimulante. Verifica-se, entretanto, que a adubação mineral promoveu equivalência de produtividade, altura e diâmetro de colmo e número de colmo entre ambas as localidades. Possivelmente, a maior velocidade de dissolução do FM, elevação nos níveis dos elementos fornecidos à solução do solo e conseqüente disponibilidade para a planta, pode ter favorecido a semelhança entre as médias obtidas em ambas as localidades. A oferta de nutrientes são maiores e constantes em solos de maior nível de fertilidade promovendo o melhor desenvolvimento das plantas (YAN et al., 2016). Tomei (2015) cita a competição por terra nos solos vulcânicos férteis da costa do pacífico na região da Guatemala para o cultivo da cana-de-açúcar e outras culturas.

Quando do uso do FOM, observa-se que a medida que são utilizados níveis de adubação entre 80 e 120 % da dose recomendada, as diferenças entre os dois ambientes para as médias observadas nos parâmetros avaliados não são detectáveis. Ao que parece, independentemente do tipo de fertilizante, o fornecimento dos níveis dos elementos essenciais às plantas ocorreu de forma satisfatória.

TABELA 12. Produtividade, altura, diâmetro e número de colmo de plantas de cana-de-açúcar em função do percentual de adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LVAd e LAd.

Locais	Percentual de adubação de plantio com organomineral										FM 100 %
	----- 0 -----		-----60-----		-----80-----		-----100----		-----120-----		
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	
Produtividade (t ha ⁻¹)											
LAd	53,9 b	62,3 b	95,5 b	98,9 b	115,0 a	100,4 b	109,7 a	110,0 b	124,8 a	121,4 b	113,2 a
LVAd	108,3 a	133,7 a	119,6 a	128,1 a	123,1 a	136,6 a	123,5 a	138,5 a	126,8 a	143,5 a	127,7 a
CV (%) = 11; DMS _{Ambientes} = 18,2											
Altura de colmo (m)											
LAd	1,70 b	1,87 b	2,32 a	2,37 a	2,45 a	2,50 a	2,42 a	2,37 a	2,42 a	2,45 a	2,27 a
LVAd	2,25 a	2,42 a	2,32 a	2,45 a	2,50 a	2,27 a	2,45 a	2,47 a	2,20 a	2,42 a	2,45 a
CV (%) = 7; DMS _{Ambientes} = 0,24											
Diâmetro de colmo (mm)											
LAd	22,4 b	22,9 b	27,7 a	27,3 a	28,0 a	28,5 a	28,6 a	29,7 a	29,4 a	31,1 a	29,8 a
LVAd	27,7 a	28,3 a	29,2 a	28,7 a	28,9 a	29,4 a	28,6 a	29,7 a	29,0 a	30,6 a	29,8 a
CV (%) = 4; DMS _{Ambientes} = 1,81											
Número de colmo (plantas m ⁻¹)											
LAd	10,0 b	9,8 b	10,4 b	11,3 a	11,6 a	11,8 a	11,6 a	11,8 a	11,1 a	11,7 a	11,5 a
LVAd	11,4 a	11,8 a	12,1 a	11,7 a	11,9 a	12,0 a	10,8 a	11,4 a	11,5 a	12,1	11,8 a
CV (%) = 8; DMS _{Ambientes} = 1,31											

Medias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

3.3 Qualidade do caldo

3.3.1 Estudo dos resultados do LVAd

Na área do LVAd em Morrinhos as variáveis pureza, fibra, Brix, ATR, TPH e litros etanol, independente da dose, foram semelhantes ($P>0,05$) com a fertilização organomineral a base de biossólido e a mineral. As doses do FOM não influenciaram ($P>0,05$) as variáveis pureza, fibra, Brix, ATR, TPH e litros etanol (Tabela 13).

Esse solo permite maior fator quantidade (Q) e maior poder tampão (Q/I), repondo os nutrientes com maior intensidade e frequência na solução do solo (CLARHOLM e SKYLLBERG, 2013; JIANG et al., 2016). Também deve-se a maior retenção de umidade e conseqüente difusão e absorção de nutrientes. A maior fertilidade do solo é suficiente para garantir o bom desenvolvimento das plantas e acúmulo de açúcares sem a necessidade em curto espaço de tempo de adição de fertilizantes (GOLDEMBERG et al., 2008). Teixeira et al. (2016), estudando as características tecnológicas do caldo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solo de cerrado com diferentes níveis de adubação fosfatada, verificaram maior Pol% caldo na maior dose de fertilizante fosfatado (300 kg ha^{-1} de P_2O_5).

O bioestimulante não influenciou ($P>0,05$) as variáveis ligadas a qualidade tecnológicas da cana-de-açúcar. Exceto o TPH, que foi influenciado ($P\leq 0,05$) e apresentou efeito significativo quando da presença do bioestimulante, produzindo $21,80 \text{ t ha}^{-1}$, ou seja, 2,89 % maior quando não utilizado o bioestimulante. A pureza, fibra%, Brix% e ATR representam propriamente a qualidade ou concentração de açúcar nos colmos. Esses são fatores com maior resposta entre variedades e época de colheita da cana. Demandam a passagem por um período de maturação para ocorrer a concentração de açúcares. Oliveira et al. (2013), avaliando a produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulantes, não encontraram respostas para o acúmulo de sacarose incrementando bioestimulante.

O TPH possui relação com a produtividade, sendo os fatores de crescimento e desenvolvimento determinantes na produção de açúcar. O composto hormonal (cinetina, ácido 4-indol-3-ilbutírico e ácido giberélico) pode contribuir para melhorar a eficiência na absorção de nutrientes e tolerar as condições adversas do ambiente. Assim, as plantas podem alcançar maior desenvolvimento e expansão radicular na presença do composto hormonal.

TABELA 13. Pureza, fibra, Brix, ATR, TPH e etanol da cana-de-açúcar em função do percentual da adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto e FM em LVAd com e sem bioestimulante.

Bioestimulante	-----Percentual da adubação com organomineral -----					
	0	60	80	100	120	Media
	----- Pureza (%) -----					
Sem	87,29	85,15	84,33	86,63	85,99	85,88 A
Com	86,56	85,05	86,82	86,44	87,67	86,51A
	Fertilizante Mineral =86,47					
	CV (%)=2; DMS _{Bioestimulante} = 1,05; DMS _{Mineral} = 3,33					
	----- Fibra (%) -----					
Sem	11,93	12,27	12,21	11,98	11,73	12,02 A
Com	12,36	12,58	12,02	11,94	11,60	12,10A
	Fertilizante Mineral =11,77					
	CV (%)=3; DMS _{Bioestimulante} = 0,26; DMS _{Mineral} = 0,85					
	----- Brix (%) -----					
Sem	21,99	22,03	21,72	22,24	22,38	22,07 A
Com	21,91	21,73	22,39	21,80	21,74	21,91A
	Fertilizante Mineral =21,93					
	CV (%)=3; DMS _{Bioestimulante} = 0,40; DMS _{Mineral} = 1,28					
	----- ATR (kg t ⁻¹)-----					
Sem	161,78	157,93	154,66	162,47	163,11	159,99A
Com	158,86	154,94	163,68	159,12	160,83	159,49A
	Fertilizante Mineral = 160,47					
	CV (%)=3; DMS _{Bioestimulante} =3,42; DMS _{Mineral} =10,81					
	----- TPH (t ha ⁻¹) -----					
Sem	17,66	18,86	19,01	20,24	20,78	19,31 B
Com	21,35	19,82	22,46	22,14	23,23	21,80A
	Fertilizante Mineral = 20,57					
	CV (%)=8; DMS _{Bioestimulante} =1,09; DMS _{Mineral} =3,46					
	----- Etanol (L t ⁻¹) -----					
Sem	96,52	94,22	92,27	96,93	97,31	95,45A
Com	94,78	92,44	97,65	94,93	95,95	95,15A
	Fertilizante Mineral = 95,74					
	CV (%)=3; DMS _{Bioestimulante} = 2,04; DMS _{Mineral} = 6,45					

Medias seguidas por letras distintas, na coluna, dentro de cada variável, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *médias diferentes do mineral por Dunnett (p<0,05).

O bioestimulante pode favorecer ainda a mediação das respostas das plantas aos fatores extrínsecos, controlando a recepção de luz na parte aérea, água e nutrientes para as raízes. Ainda, contribuem com a formação de gemas e expansão da área foliar, assim aumentando a taxa fotossintética (KOPRINA et al., 2016). Tudo isso colabora para o aumento da produtividade de colmos, fator este participante na determinação da produtividade de açúcar. Silva et al. (2010) observaram que genótipos respondem

distintamente ao emprego de bioestimulantes na ausência ou presença de fertilizantes foliares em cana soca.

3.3.2 Estudo da área de LAd

Não houve interação nas áreas LVAd e LAd entre os fatores dose do FOM de lodo de esgoto, bioestimulante e o FM para as variáveis pureza, fibra, brix, ATR, TPH e etanol.

Ao analisar a resposta de FOM de biossólido e a fonte mineral, observou-se que nas variáveis ligadas à qualidades tecnológicas da cana-de-açúcar foram semelhantes (Tabela 14). Não houve significância comparando 100 % do percentual de recomendação da fonte mineral e os extremos da fonte organomineral (sem fertilizante e 120 % da recomendação do organomineral, com e sem bioestimulante). Exceção ocorreu para produtividade de açúcar (TPH). O TPH foi menor na ausência de fertilizante comparado a presença de 100 % do FM. Mesmo não sendo significativo nas demais doses, destaca-se o TPH com 100 % do percentual de recomendação da fonte mineral que produziu $17,86 \text{ t ha}^{-1}$. O máximo alcançado foi com 120 % do FOM sem a adição do bioestimulante com produção de $19,17 \text{ t ha}^{-1}$.

Encontrou-se resultados sem significância ($P > 0,05$) em todas as doses do FOM no nível de 100 % da recomendação com e sem bioestimulante comparando com o FM. Este FM apresentou percentuais de incremento sobre o FOM com os seguintes percentuais: 1,5 % (sem) e 2,53 % (com), para pureza; 2,23 % (sem) e 4,0 % (com), para fibra; 2,82 % (sem) e -0,33 % (com), para Brix; 3,43 % (sem) e 0,83 % (com), para ATR; 0,62 % (sem) e 3,89 % (com), para TPH, 3,43 % (sem) e 0,83 % (com), para litros de etanol.

Justifica-se que a quantidade de nutrientes prontamente solúveis fornecidos pelas fontes mineral e organomineral foram semelhantes, indicando que o FOM pode ser utilizado em cultivo de cana-de-açúcar. Ressalta-se que o componente orgânico da fonte organomineral de lodo de esgoto demanda maior período para mineralização e solubilização dos nutrientes para as plantas (RAMOS et al., 2017). Isso proporciona uma maior eficiência na absorção de nutrientes. Os benefícios da evolução das propriedades físicas do solo na presença do aumento de matéria orgânica também destacam ao longo de maior espaço de tempo (KOMINKO et al., 2017).

TABELA 14. Pureza, fibra, Brix, ATR, TPH e litros etanol da cana-de-açúcar em função do percentual da adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LAd.

Bioestimulante	-----Percentual da adubação com organomineral -----					
	0	60	80	100	120	Media
	----- Pureza (%) -----					
Sem	89,05	89,99	89,66	89,26	89,23	89,44 A
Com	89,74	89,34	90,22	88,36	89,64	89,46 A
	Fertilizante Mineral = 90,60					
	CV (%)=2; DMS _{Bioestimulante} = 0,95; DMS _{Mineral} = 3,02					
	----- Fibra (%) -----					
Sem	13,74	12,95	12,99	12,98	12,74	13,08 A
Com	13,30	13,02	13,14	12,76	12,54	12,95 A
	Fertilizante Mineral = 13,27					
	CV (%)= 4; DMS _{Bioestimulante} = 0,37; DMS _{Mineral} = 1,19					
	----- Brix (%) -----					
Sem	20,57	20,43	20,60	20,51	20,59	20,54 A
Com	20,77	20,64	21,10	21,16	20,62	20,86 A
	Fertilizante Mineral = 21,09					
	CV (%)= 2; DMS _{Bioestimulante} = 0,23; DMS _{Mineral} = 0,74					
	----- ATR (kg t ⁻¹)-----					
Sem	149,39	151,71	152,43	151,29	152,38	151,44 B
Com	152,89	152,14	156,36	155,20	153,73	154,07 A
	Fertilizante Mineral = 156,49					
	CV (%)=3; DMS _{Bioestimulante} = 2,70; DMS _{Mineral} = 8,53					
	----- TPH (t ha ⁻¹) -----					
Sem	8,14*	14,62	17,68	16,75	19,17	15,27 A
Com	9,65*	15,16	15,85	17,19	18,81	15,33 A
	Fertilizante Mineral = 17,86					
	CV (%)=15; DMS _{Bioestimulante} = 1,51; DMS _{Mineral} = 4,78					
	----- Etanol (L t ⁻¹) -----					
Sem	89,13	90,51	90,94	90,26	90,91	90,35 A
Com	91,22	90,77	93,29	92,60	91,72	91,92 A
	Fertilizante Mineral = 93,36					
	CV (%)=3; DMS _{Bioestimulante} = 1,61; DMS _{Mineral} = 5,09					

Medias seguidas por letras distintas, na coluna, dentro de cada variável, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; *médias diferentes do mineral por Dunnett (p<0,05).

Ainda nesta área do município de Prata (Tabela 14), o bioestimulante não influenciou (P>0,05) as variáveis pureza, teor de fibra, Brix e Litros de etanol t⁻¹. Exceto o ATR, que diferiu (P≤0,05) e apresentou diferença nos tratamentos com a adição do bioestimulante, atingindo o valor de 154,07 kg t⁻¹, ou seja, 1,74 % maior quando não utilizado o bioestimulante. O composto hormonal (cinetina, ácido 4-indol-3-ilbutírico e ácido giberélico) pode contribuir para melhorar a eficiência na absorção de

nutrientes e tolerar as condições adversas do ambiente. No entanto, a baixa fertilidade do solo pode influenciar na eficiência e conseqüentemente redução no desenvolvimento celular. Portanto, a nutrição da planta torna-se prejudicada (ROSE et al., 2014).

3.3.3 Efeito de doses de FOM

Os ajustes matemáticos de regressão somente foram significativos no município de Prata - MG para produtividade de açúcar, ajustando-se às equações lineares: TPH (t ha⁻¹) sem bioestimulante $8,7421 + 0,0907X$, R^2 (%) = 93,67 e TPH (t ha⁻¹) com bioestimulante $9,9466 + 0,0748X$, R^2 (%) = 98,09. Esses ajustes indicam maior produtividade com maior dose de fertilizante. Na figura 13A, sem bioestimulante, a equação indica aumento de 0,9 t ha⁻¹, a cada 10 % de aumento da adubação. Para a figura 13B, com bioestimulante, o aumento indicado da produtividade de açúcar foi de 0,75 t ha⁻¹ para cada 10 % de aumento da adubação. Os FOMs possuem a característica de liberação controlada dos nutrientes. A matéria orgânica possui a propriedade de liberar gradualmente os nutrientes. Além disso, as características físico-químicas dos FOMs reduzem as perdas por volatilização de nitrogênio (KOMINKO et al., 2017). O equilíbrio hormonal melhora a eficiência do metabolismo da planta. Com isso, há maior conversão de substâncias minerais em substâncias orgânicas. Logo, o aproveitamento dos bioestimulantes é maximizado promovendo aumento da produtividade (KOPRINA et al., 2016).

A resposta da cultura em acumular açúcar é crescente com o aumento do fornecimento do FOM a base de biossólido. Um solo de menor fertilidade possui um menor poder tamponante de nutriente, ou seja, uma menor resistência à alteração do conteúdo de nutrientes na solução e nos colóides (CLARHOLM e SKYLLBERG, 2013; JIANG et al., 2016). Assim, ao fornecer qualquer quantia de fertilizantes, não extrapolando os limites máximos suportados pelas plantas em função de salinização, rapidamente haverá acentuada absorção dos nutrientes pelas plantas em função da necessidade imediata de absorção. Em conseqüência haverá maior crescimento, desenvolvimento, produtividade e no caso, maior acúmulo de açúcar. Santos et al. (2011), estudando a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel, verificaram ganho de produtividade de açúcar conforme aumento de doses de P₂O₅ solúvel.

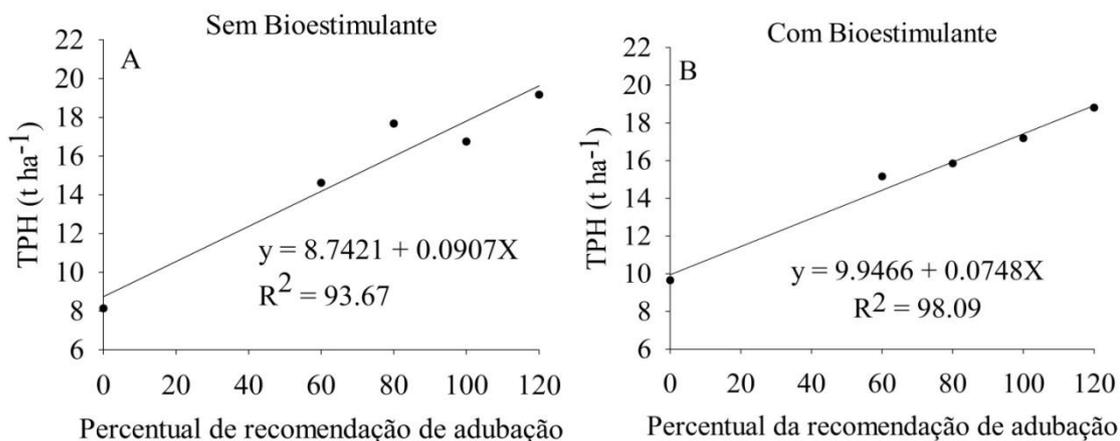


FIGURA 13. Modelos de regressão ajustados a 0,05 de significância, para produtividade de Pol (TPH) em função de doses de FOM de lodo de esgoto com e sem bioestimulante em LAd.

3.3.4 Comparativo entre LVAd e LAd

A pureza e a fibra do caldo da cana-de-açúcar cultivada em LAd no município de Prata apresentaram maior percentual. O conteúdo de sólidos solúveis (Brix%), produtividade de açúcares (TPH), ATR% e o rendimento de etanol foram, em geral, maiores em ambiente de maior fertilidade do solo no município de Morrinhos (Tabela 15).

As condições geográficas e climáticas adversas impostas nos dois ambientes (Figuras 1 e 4) foram determinantes para diferenciação da qualidade do caldo da cana-de-açúcar. Houve precipitação no período inicial da cultura na área em Prata, de 456 mm. Para a área em Morrinhos a precipitação foi de 416 mm até os 150 DAP. O plantio do experimento em Prata foi realizado em solo situado distante 200 metros acima da nascente de água, mantendo-se com maior umidade e deixando os nutrientes disponíveis na solução do solo. Isso permitiu o melhor desenvolvimento inicial e vegetativo das plantas. No entanto, após o período vegetativo, a cana-de-açúcar necessita de um período de menor oferta de água no solo para melhor eficiência na maturação e concentração de açúcares, o que ocorreu neste estudo (ALAMILLA-MAGAÑA et al., 2016). Assim, houve maior acúmulo de açúcar e das variáveis dependentes, como TPH e etanol. Tavares et al. (2017) verificaram que aos 305 DAP a cana não apresentou índice de maturação apropriado para a colheita quando submetido a velocidades de rebaixamento do nível freático em 0,3 m.

O contrário ocorreu no ambiente de fertilidade mais alta do solo, em Morrinhos. Neste local, o plantio foi realizado em uma área de solo extremamente drenado. A água

no solo é essencial para o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Além das necessidades fisiológicas, favorece os mecanismos de transportes (difusão e fluxo de massa) e aumenta os nutrientes disponíveis na solução do solo (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A partir do fim do período vegetativo e início da maturação ocorreu falta de água no solo, coincidindo com redução das temperaturas (Figura 1). Alamilla-Magaña et al. (2016) verificaram maior acúmulo de sacarose e Brix de acordo com o aumento da tensão de umidade do solo para iniciar a irrigação. Esses mesmos autores encontraram o maior rendimento de colmos ao iniciar a irrigação com menor tensão de umidade no solo. O rendimento de açúcar foi maior em solo com maior umidade por estar amarrada ao maior rendimento de colmos. O fator fertilidade do solo é influente no teor de Brix%. Essa afirmação está mista a condições geográficas e edafoclimáticas impostas nos ambientes. Fravet et al. (2010), estudando o efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar, verificaram aumento da produtividade de colmos e TPH e redução de Brix% e Pol% da cana.

A disponibilidade de nutrientes é essencial para o crescimento, desenvolvimento, acúmulo de sacarose e maturação da cana-de-açúcar. Neste caso específico de qualidade do caldo, o adequado suprimento de nutrientes nos estádios iniciais até o final do estágio vegetativo é determinante para maior metabolização e conversão de energia luminosa em açúcares em quantidade e qualidade superior. Nesta ocasião, é aproveitado os benefícios dos bioestimulantes para maximização dos processos fisiológicos e conversão em açúcares.

TABELA 15. Pureza, Fibra, Brix, ATR, TPH e Litros Etanol da cana-de-açúcar em função do percentual da dose de adubação de plantio e cobertura com FOM de lodo de esgoto na ausência e presença de bioestimulante e FM em LAd e LVAd.

Ambientes	Percentual de adubação de plantio										FM 100 %
	-----0-----		-----60-----		-----80-----		-----100-----		-----120-----		
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	
Pureza (%)											
LAd	89,0 a	89,7 a	89,9 a	89,3 a	89,6 a	90,2 a	89,2 a	88,3 a	89,2 a	89,6 a	90,6 a
LVAd	87,2 a	86,5 b	85,1 b	85,0 b	84,3 b	86,8 b	86,6 b	86,4 a	85,9 a	87,6 b	86,4 b
CV (%) = 2 ; DMS _{Ambientes} = 2,2											
Fibra (%)											
LAd	13,7 a	13,3 a	12,9 a	13,0 a	12,9 a	13,1 a	12,9 a	12,7 a	12,7 a	12,5 a	13,2 a
LVAd	11,9 b	12,3 a	12,2 b	12,5 b	12,2 b	12,0 b	11,9 a	11,9 b	11,7 b	11,6 b	11,7 b
CV (%) = 4; DMS _{Ambientes} = 0,71											
Brix (%)											
LAd	20,5 b	20,7 b	20,4 b	20,6 b	20,6 b	21,1 b	20,5 b	21,1 b	20,5 a	20,6 b	21,0 b
LVAd	21,9 a	21,9 a	22,0 a	21,7 a	21,7 a	22,3 a	22,2 a	21,8 a	22,3 a	21,7 a	21,9 a
CV (%) = 2; DMS _{Ambientes} = 0,72											
TPH (t ha ⁻¹)											
LAd	8,1 b	9,6 b	14,6 a	15,1 b	17,6 a	15,8 b	16,7 b	17,1 b	19,1 b	18,8 b	17,8 a
LVAd	17,6 a	21,3 a	18,8 a	19,8 a	9,0 a	22,4 a	20,2 a	22,1 a	20,7 a	23,2 a	20,5 a
CV (%) = 11; DMS _{Ambientes} = 2,89											
ATR (kg t ⁻¹)											
LAd	149,3 b	152,8a	151,7 a	152,1b	152,4 b	156,3a	151,2a	155,2b	152,3a	153,7b	156,4 a
LVAd	161,7 a	158,8a	157,9a	154,9a	154,6 a	163,6a	162,4 a	159,1a	163,1a	160,8a	160,4 a
CV (%) = 3; DMS _{Ambientes} = 6,74											
Etanol (L t ⁻¹)											
LAd	89,1 b	91,2 a	90,5 a	90,7 b	90,9 b	93,2 a	90,2 a	92,6 b	90,9 a	91,7 b	93,3 a
LVAd	96,5 a	94,7 a	94,2 a	92,4 a	92,2 a	97,6 a	96,9 a	94,9 a	97,3 a	95,9 a	95,7 a
CV (%) = 3; DMS _{Ambientes} = 4,02											

Medias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

4 CONCLUSÕES

Em LAd, o aumento dos percentuais da adubação favorece e incrementa o desenvolvimento inicial, rendimento de colmo, caracteres biométricos e produtividade de açúcar sem e com bioestimulante. O uso de bioestimulantes não contribui para o desenvolvimento inicial da cultura, biometria e rendimento de colmo, porém, aumenta o acúmulo de ATR.

Em LVAd, o aumento dos percentuais da adubação são similares na qualidade do caldo, biometria, rendimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar. O uso de bioestimulantes incrementa resultados no desenvolvimento inicial da cultura, rendimento de colmo, caracteres biométricos e a produtividade de açúcar do caldo da cana.

Em ambos os ambientes a adubação com FOM a base de biossólido é semelhante a adubação com FM.

Em LVAd, há maior produção de açúcares e melhor qualidade do caldo da cana. O uso de FOM e bioestimulante são alternativas para a fertilização sustentável do solo e ciclagem de nutrientes na cultura da cana-de-açúcar.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq; A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG; Companhia Mineira de Açúcar e Álcool - CMAA - Vale do Tijuco; Araporã Bioenergia; Stoller do Brasil; Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos e Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia.

REFERÊNCIAS

ALAMILLA-MAGAÑA, J. C.; CARRILLO-ÁVILA, E.; OBRADOR-OLAN, J. J.; LANDEROS-SÁNCHEZ, C.; VERA-LOPEZ, J.; JUÁREZ-LÓPEZ, J. F. Soil moisture tension effect on sugar cane growth and yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 177, 2016, p.264-273. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.08.004

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação. Viçosa, MG, p25 - 32. (1999).

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. E. P.; OLIVEIRA, D. M. S.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils - Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 211, p. 173-18, 2015. DOI:10.1016/j.agee.2015.06.006.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Rendimento de cana-de-açúcar cultivada em argisolo, utilizando lodo de esgoto como fonte de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 495-501, 2009. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i3.692

CIVIERO, J. C.; DAROS, E.; MELO, L. J. O. T.; WEBER, H.; MOGOR, A. F. FIGUEIREDO, G. G. O. Application of humic substance and L-glutamic amino acid in different sizes of 1-bud sett of sugarcane. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.37, n.3, p.340-347, 2014.

CLARHOLM, M., SKYLLBERG, U. Translocation of metals by trees and fungi regulates pH, soil organic matter turnover and nitrogen availability in acidic soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 63, p. 142-153, 2013. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.03.019

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: SANEPAR, 1999. 98 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. V. 4 - SAFRA 2017/18 N. 2: segundo levantamento**. Brasília: CONAB, 2017. p. 1-72. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_08_24_08_59_54_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_17-18.pdf>. Acesso em 11 nov. 2017.

CRUZ, C. D. GENES - software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI:10.4025/actasciagron.v35i3.21251

DEEKS, L. K.; CHANEY, K.; MURRAY, C.; SAKRABANI, R.; GEDARA, S.; LE, M. S.; TYRREL, S.; PAWLETT, M.; READ, R.; SMITH, G. H. A new sludge-derived organo-mineral fertilizer gives similar crop yields as conventional fertilizers.

- Agronomy for sustainable development**, Paris, v. 33, p.539-549, 2013. DOI: 10.1007/s13593-013-0135-z
- DOAN, T. T.; HENRY-DES-TUREAUX, T.; RUMPEL, C.; JANEAU, J.; JOUQUET, P. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. **Science of the total environment**, Amsterdamv. 514, p. 147-154, 2015.DOI.: 10.1016/j.scitotenv.2015.02.005
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: RJ. Embrapa Solos, 2011. 230p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: RJ. Embrapa Solos, 2013. 350p.
- FIGUEIRA, J. A.; CARVALHO, P. H.; SATO, H. H. Sugarcane starch: quantitative determination and characterization. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v 31, n. 3, p. 806-815, 2011. DOI.:10.1590/S0101-20612011000300040
- FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 3ª ed. Piracicaba: STAB, 2011. 416 p.
- FERREIRA, M. M. R.; FERREIRA, L. H. Z.; BOLONHEZI, A. C. Plant regulators applied in the planting furrow in some sugarcane cultivars. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.14, n.2, p.59-64, 2013.
- FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 618-624, 2010. DOI.: 10.1590/S1413-70542010000300013
- GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutrófico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p569-577, 2004. DOI.:10.1590/S0100-06832004000300017
- GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, Guildford, v. 36, p. 2086 - 2097, 2008. DOI.:10.1016/j.enpol.2008.02.028
- GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; TRIVELIN, P. C. O. Nutrient leaching in an Ultisol cultivated with sugarcane. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 148, p. 141 - 149, 2015. DOI.:10.1016/j.agwat.2014.09.027
- JIANG, J.; WANG, Y. P.; YU, M.; LI, K.; SHAO, Y.; YAN, J. Jiang et al 2016 Responses of soil buffering capacity to acid treatment in three typical. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 563–564, p. 1068–1077, 2016. DOI.: 1068-77. doi: 10.1016 / j.scitotenv.2016.04.198

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. SisCob: **Manual de Utilização**. Embrapa Instrumentação Agropecuária. São Carlos, SP. 2009. 18p.

KIRKELS, F. M. S. A.; CAMMERAAT, L. H.; KUHN, N. J. The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes - A review of different concepts. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 226, p. 94-105, 2014. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.04.198

KULIKOWSKA, D.; GUSIATIN, Z. M. Sewage sludge composting in a two-stage system: Carbon and nitrogen transformations and potential ecological risk assessment. **Waste Management**, New York, v. 38, p. 312-320, 2015. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.12.019

KOPRINA, R.; DIEGO, N. D.; DUNDÁLKOVÁ, L.; SPÍCHAL, L. Use of cytokinins as agrochemicals. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, Oxford, v. 24, p.484-492, 2016. DOI:10.1016/j.bmc.2015.12.022

LIANG, Q.; CHEN, H.; GONG, Y.; YANG, H.; FAN, M.; Y, KUZYAKOV. Effects of 15 years of manure and mineral fertilizers on enzyme activities in particle-size fractions in a North China Plain Soil. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 60, p. 112-119, 2014. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2013.11.009

MAGALHÃES, J. E. S.; FERREIRA, E. A.; OLIVEIRA, M. C.; PEREIRA, G. A. M.; SILVA, D. V.; SANTOS, J. B. Effect of plant-biostimulant on cassava initial growth. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 2, p. 208-213, 2016. DOI:10.1590/0034-737X201663020012

MARÔCO, J. **Análise estatística com o SPSS statistics**. Report Number, análise e gestão da informação. 5ª Edição, 2011. 992p.

OLIVEIRA, A. R. P.; ALVES, B. J. R.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; ZONTA, E.; PEREIRA, W.; SOARES, P. F. C. Agronomic performance of green cane fertilized with ammonium sulfate in a coastal tableland soil. **Bragantia**, Campinas, v.76, n.2, 2017. DOI: 10.1590/1678-4499.186

OLIVEIRA, C. P.; ALVAREZ, R. C. F.; LIMA, S. F.; CONTARDI, L. M. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulantes. **Revista Agrarian**, Dourados, v.6, n.21, p.245-251, 2013.

OLIVÉRIO, J. L.; BOSCARIOL, F. C.; MANTELATTO, P. E.; CÉSAR, A. R. P.; CIAMBELLI, J. R. P.; GURGEL, M. N. A.; SOUZA, R. T. G. de. Integrated production of organomineral biofertiliser (biofom) using by-products from the sugar and ethanol agro-industry, associated with the cogeneration of energy. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 13, n.1, p.17-22, 2011. DOI: 10.1007/s12355-011-0069-1

RADY, M. M. A novel *organo-mineral fertilizer* can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. **South African Journal of Botany**, Grahamstown, v. 81, p. 8 - 14, 2012. DOI: 10.1016/j.sajb.2012.03.013.

RAMOS, L. A.; LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; SILVA, A. A. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. **African Journal of Agricultural Research**, Grahamstown, v. 12, n. 1, p. 20-27, 2017. DOI: 10.5897/AJAR2016.11024

REICHERT, J. M.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. RODRIGUES, M. F.; SUZUKI, L. E. A. S. Land use effects on subtropical, sandy soil under sandization/desertification processes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 233, n. 3, p. 370-380, 2016. DOI: 10.1016/j.agee.2016.09.039

RESENDE JÚNIOR, J. C.; CAMARGO, R.; LANA, R. M. Q.; FILHO, A. A.; MATOS, A. L. A. The effects of sewage sludge, mineral and organic fertilizers on initial growth of *Urochloa brizantha* cv Marandu (Hochst. ex A. Rich.) R. D Webster. **African Journal of Agricultural Research**, Grahamstown, v. 11, n. 36, p. 3460-3470, 2016. DOI: 10.5897 / AJAR2016.11477

ROSE, M. T.; PATTI, A. F.; LITTLE, K. R.; BROWN, A. L.; JACKSON, W. R.; CAVAGNARO, T. R. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 124, ed Sparks D. L., editor. New York, NY: Academic Press, 2014, p.37-89.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.15, n.5, p.443-449, 2011.

SEWAGE SLUDGE PRODUCTION AND DISPOSAL. Your key to European statistics. EUROSTAT. 2017. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env_ww_spd>. Acesso em: 10 jan 2018.

SHARMA, H. S. S.; SELBY, C.; CARMICHAEL, E.; Mc ROBERTS, E.; RAO, J. R.; AMBROSINO, P.; CHIURAZZI, M.; PUCCI, M.; MARTIN, T. Physicochemical analyses of plant biostimulant formulations and characterisation of commercial products by instrumental techniques. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Amsterdam, v. 3, n.13, p.1-17, 2016. DOI:10.1186/s40538-016-0064-6 AJUDA ACHAR LOCAL!

SHOWLER, A. T. Effects of compost and chicken litter on soil nutrition, and sugarcane physiochemistry, yield, and injury caused by Mexican rice borer, *Eoreuma loftini* (Dyar) (Lepidoptera: Crambidae). **Crop Protection**, Guildford, v. 71, p. 1-11, 2015. DOI:10.1016/j.cropro.2015.01.020

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance. In: **World Congress on Computers in Agriculture, 7**, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, M. A.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Productivity and technological quality of sugarcane ratoon subject to the application of plant growth regulator and liquid

fertilizers. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.4, p.774-780, 2010. DOI:
10.1590/S0103-84782010005000057

SOUSA, R. T. X. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar**. 2014. 87f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG/Brasil.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TAVARES, A. C. S.; DUARTE, S. N.; DIAS, N. S.; SÁ, F. V. S.; MIRANDA, J. H.; FERNANDES, C. S. Produção e maturação de cana-de-açúcar submetida a encharcamento em diferentes estádios de desenvolvimento. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 154-166, 2017. DOI: 10.15809/irriga.2017v22n1p154-166

TEIXEIRA, W. G.; SOUZA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Response of sugarcane to doses of phosphorus provided by organomineral fertilizer. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

TEIXEIRA, E. B.; BOLONHEZI, A. C.; FERNANDES, F. M.; RIBEIRO, N. A.; QUEIROZ, C. J. Características tecnológicas do caldo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solo de cerrado com diferentes níveis de adubação fosfatada. **Científica**, Jaboticabal, v.44, n.1, p.23-34, 2016. DOI: 10.15361/1984-5529.2016v44n1p23-34

TOMEI, J. The sustainability of sugarcane-ethanol systems in Guatemala: Land, labour and law. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v 82, p.94-100, 2015. DOI:
10.1016/j.biombioe.2015.05.018

TSUTIYA, M. T. **Alternativas de disposição final de bio sólidos**. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O., eds. **Bio sólidos na agricultura**. São Paulo, SABESP, 2001. 468 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Sugar World markets and trade**. Foreign Agricultural Service, 2016. Disponível em:
<<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/Sugar.pdf>> Acesso em 11 Jan. 2018.

YAN, W.; ZHONG, Y.; ZHENG, S.; SHANGGUAN, Z. Linking plant leaf nutrients/stoichiometry to water use efficiency on the Loess Plateau in China. **Ecological Engineering**, Amsterdam, n.87, p. 124 - 131, 2016. DOI:
10.1016/j.ecoleng.2015.11.034