

EDUARDO HENRIQUE LIMA DE LUCENA

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO NA
CULTURA DO SORGO SACARINO VISANDO PRODUÇÃO DE BIOMASSA
E RENDIMENTO DE CALDO**

Recife-PE

2014

EDUARDO HENRIQUE LIMA DE LUCENA

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO NA
CULTURA DO SORGO SACARINO VISANDO PRODUÇÃO DE BIOMASSA
E RENDIMENTO DE CALDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim

Co-orientador

Prof. Dr. José Nildo Tabosa

Recife-PE

Fevereiro, 2014

Ficha catalográfica

L935e Lucena, Eduardo Henrique Lima de
Efeito da aplicação de vinhaça e torta de filtro na cultura
do sorgo sacarino visando produção de biomassa e
rendimento de caldo / Eduardo Henrique Lima de Lucena. –
Recife, 2014.
66 f. : il.

Orientador: Mário Monteiro Rolim..
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, 2014.
Referências.

1. Sorghum bicolor (L) Moench 2. Vinhaça 3. Torta de
filtro 4. Biomassa 5. Etanol I. Rolim, Mário Monteiro,
orientador II. Título

CDD 631

EDUARDO HENRIQUE LIMA DE LUCENA

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO NA
CULTURA DO SORGO SACARINO VISANDO PRODUÇÃO DE BIOMASSA
E RENDIMENTO DE CALDO**

Dissertação defendida e aprovada em 25 de fevereiro de 2014 pela Banca Examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim
UFRPE

Examinadores:

Prof. Dr. José Nildo Tabosa
UFRPE

Anamaria de Sousa Duarte
UFRPE – DEAgri – PNPD

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto
EECAC - UFRPE

Semeador

No imenso campo do mundo,
Tu és um semeador.
Semeia, mestre, semeia
Cada vez com mais amor.

Não digas que o solo é mau.
Que chove frequentemente.
Ou o sol castiga a terra
Ou que não serve a semente.

Enfrenta as dificuldades,
Não podes desanimar.
Aqui, no campo do mundo,
Teu dever é semear.

Tua palavra é semente,
Teu exemplo, teu perdão.
É semente todo zelo
Com que dás tua lição.

É semente teu sorriso,
O teu aperto de mão.
É semente tudo, tudo
Que vem do teu coração.

Não esperas recompensa
Mas recompensa terás.
E nem, pensas em riqueza
Mas rico sei que serás.

Porque trabalhas num reino
Onde perder é ganhar,
Onde dar é receber.
Vamos, mestre, semear.

Semeia, semeia sempre.
Cada vez com mais amor.
No imenso campo do mundo,
Tu és um SEMEADOR.

Cecília Amoroso

DEDICO

À quem realmente é merecedor
de toda graça alcançada, meu maravilhoso DEUS.

OFEREÇO

Aos meus amados pais,
José Anselmo de Lucena e Sônia Maria Lima de Lucena,
a minha linda esposa Sany Freitas de Lucena.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força divina, disciplina, calma e sabedoria;

Aos meus Maravilhosos pais, Sônia Maria Lima de Lucena e José Anselmo de Lucena, pela educação dada, carinho e apoio;

A minha querida e amada esposa, Sany Freitas de Lucena, pelo carinho, consideração e respeito, assim como meus queridos irmãos Ana Carolina Lima de Lucena e José Anselmo de Lucena Júnior pelo apoio, companheirismo e confiança. A eles dedico o meu amor e a minha gratidão.

Agradeço ao professor Mario Rolim, pela orientação e oportunidade em poder participar de estudos na área de resíduos agrícolas com a cultura do sorgo sacarino. Ao professor e amigo Egídio Bezerra Neto, pela compreensão e auxílios dados. Agradeço a Anamaria pelas orientações fornecidas.

Aos colegas de pós-graduação, Miguel, Hammady, Marcos Fêlix, Nathália, Núbia, Vinícius, Luiz, Alan, Ana Karina, Adriana, Renato Paiva de Lima, Cleene, Andréia, Daniel, Uilka, Mara, Wellington, Nadielan, Thiago dos quais levarei muitas saudades;

Aos amigos Rafael Rocha, Emmanuel e Eric Xavier;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e a Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela atenção dos docentes na edificação pessoal, profissional e formação acadêmica;

Ao Funcionário do DTR “Lulinha” pela disposição e auxílios prestados quando precisei;

A CAPES, pela Concessão da bolsa durante a vigência do curso;

A todos, que de forma direta e indireta contribuíram para a realização e conclusão desse trabalho de dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
RESUMO	xiii
CAPÍTULO I - Introdução Geral.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1.1 Cultura da cana-de-açúcar	3
1.2 Agronegócio da cana-de-açúcar.....	4
1.3 Resíduos gerados no beneficiamento da cana-de-açúcar e reuso agrícola.....	6
1.4 Sorgo Sacarino (Sorghum bicolor moench.).....	8
Referências	10
CAPÍTULO II – Vinhaça e Torta de filtro nos atributos de um Latossolo Vermelho e na produtividade do Sorgo Sacarino.....	15
RESUMO	16
ABSTRACT	16
INTRODUÇÃO.....	17
MATERIAL E MÉTODOS.....	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO III - Uso do sorgo sacarino para produção de etanol no estado de Pernambuco.....	36
RESUMO	37
ABSTRACT	37
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAL E MÉTODOS.....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	50

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II - Vinhaça e Torta de filtro nos atributos de um Latossolo Vermelho e na produtividade do Sorgo Sacarino

- Figura 1.** Croqui do sistema de irrigação utilizado (gotejamento). 26
- Figura 2.** Croqui demonstrativo da área experimental em campo. 26
- Figura 3.** Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função das doses de vinhaça aplicadas no solo. 26
- Figura 4.** Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função das doses de torta de filtro aplicadas no solo. 27
- Figura 5.** Concentração de cálcio no solo (cmolc dm^{-3}) em função das doses de torta de filtro aplicadas no solo. 29
- Figura 6.** Variação da CTC (comlc dm^{-3}) em função das doses de torta de filtro aplicadas no solo. 26

CAPÍTULO III - Uso do sorgo sacarino para produção de etanol no estado de Pernambuco

- Figura 1.** Croqui do sistema de irrigação utilizado (gotejamento).. 30
- Figura 2.** Croqui demonstrativo da área experimental em campo. 30
- Figura 3A e 3B.** Produtividade de colmos (PRODT) e produção de etanol (PRODE) em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro. 45
- Figura 4.** Peso do bolo úmido (PBU) em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro. 47
- Figura 5A e 5B.** Percentagem de açúcares redutores na cana (AR% cana) e açúcares totais recuperáveis (ATR Kg t^{-1}) em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro. 48

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - Vinhaça e Torta de filtro nos atributos de um Latossolo Vermelho e na produtividade do Sorgo Sacarino

- Tabela 1.** Atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho distrófico antes da aplicação dos resíduos agroindustriais (Vinhaça e Torta de filtro). 21
- Tabela 2.** Características físico-químicas da Vinhaça utilizada no ensaio..... 21
- Tabela 3.** Composição físico-química da torta de filtro utilizada no ensaio. 21
- Tabela 4.** Valores médios obtidos dos atributos de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a aplicação de vinhaça e torta de filtro (adubação de fundação) 21

CAPÍTULO III - Uso do sorgo sacarino para produção de etanol no estado de Pernambuco

- Tabela 1.** Atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho distrófico antes da aplicação dos resíduos agroindustriais (Vinhaça e Torta de filtro). 40
- Tabela 2.** Características físico-químicas da Vinhaça utilizada no ensaio..... 43
- Tabela 3.** Composição físico-química da torta de filtro utilizada no ensaio. 43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% - Porcentagem
* - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F
** - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F
°C - Graus Celsius
APHA - American Public Health Association
ATR - açúcar total recuperável;
AR - açúcar redutor;
BRIX - Teor de sólidos solúveis (°Brix);
Ca²⁺ - Íon Cálcio
CEes - Condutividade elétrica no estrato de saturação
cm - Centímetro
cmolc.dm⁻³ - Centimol de carga por dm³
CTC - Capacidade de troca catiônica
CV - Coeficiente de variação
DAE - Dias após a emergência
DAP - Dias após o plantio
dS.m⁻¹ - DeciSiemens por metro
DEAgri - Departamento de Engenharia Agrícola
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe - Íon Ferro
FIB - Fibra (%);
g - Grama
g kg⁻¹ - Grama por quilograma
GL - Grau de liberdade
H₂SO₄ - Ácido sulfúrico
ha - Hectare
HCl - Ácido clorídrico
IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco
K⁺ - Íon Potássio
KCl - Cloreto de potássio
Kg - Quilograma
kg ha⁻¹ - Quilograma por hectare
L - Litro
m - Metro
m³ ha⁻¹ - Metros cúbico por hectare
Mg²⁺ - Íon Magnésio
mg dm⁻³ - Miligrama por decímetro cúbico
mg L⁻¹ - Miligrama por litro
mm - Milímetro
Mn - Manganês
mol L⁻¹ - Mol por litro
Na⁺ - Íon Sódio
NaOH - Hidróxido de Sódio
NH⁴⁺ - Íon amônio
ns - Não Significativo
P - Fósforo
PCC - pol % corrigida;

PE - Pernambuco
pH - Potencial Hidrogeniônico
POL - Açúcar no caldo (%);
PRODE - Produção de etanol ($L ha^{-1}$)
PRODT - Produtividade ($t.ha^{-1}$);
Pza - Pureza (%);
S - Enxofre
t - Tonelada
UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco

RESUMO

Além do sorgo granífero existem outros tipos para produção de biomassa e etanol, destacando-se o sorgo sacarino ou sorgo forrageiro de colmo doce. O sorgo sacarino em complemento à cana-de-açúcar na produção bioenergética é uma alternativa viável. Os colmos podem ser processados na mesma instalação destinada à produção de etanol de cana-de-açúcar, gerando grande quantidade de vinhaça e torta de filtro, podendo utilizá-los como fertilizante. Sua destinação nas indústrias sucroalcooleiras é fundamental por possuírem nutrientes minerais essenciais às plantas. O presente trabalho objetivou avaliar doses de vinhaça e torta de filtro (adubação de fundação) sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico, bem como a produção de etanol como alternativa ao cultivo de cana-de-açúcar no estado de Pernambuco. Analisando-se os dados agroindustriais de produção de colmos e etanol, peso do bolo úmido, açúcar total recuperável e açúcares redutores. Foi testada a variedade do IPA de Sorgo Sacarino SF-15, constituindo-se de dois tratamentos e cinco níveis de aplicação de doses de vinhaça (0; 19,42; 77,68; 155,36 e 310,72 m³.ha⁻¹) e cinco níveis de torta de filtro (0; 2,75; 11,0; 22,0 e 44,0 t ha⁻¹) em blocos casualizados com quatro repetições. Foi conduzido experimento na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, Recife - PE, de julho à Outubro de 2013. Os dados foram submetidos à ANOVA e regressão, através do software SAS, a 5% de significância pelo teste F. Os resultados indicaram que os atributos químicos do solo tratados com torta de filtro foram verificados efeitos lineares significativos (p<0,05) para teores de fósforo, cálcio e capacidade de troca de cátions (CTC) no solo. Para a vinhaça foi verificado efeito quadrático significativo (p<0,05) das doses aplicadas proporcionando redução no teor de fósforo no solo, ocorrendo, em seguida, incremento de 8,88% na dose máxima de vinhaça. Para os atributos pH, magnésio, sódio, potássio, alumínio trocável, hidrogênio, CTC e saturação por bases (V%) o teste F foi significativo. Para os resultados agroindustriais observou-se que o uso da vinhaça e torta de filtro promoveu aumento da produtividade de colmos de sorgo sacarino, entretanto, houve incremento apenas da produção de etanol quando se utilizou a torta de filtro como fonte de nutrientes. A vinhaça e torta de filtro possibilitaram o aumento dos açúcares redutores (AR) e açúcares totais recuperáveis (ATR), contudo, diminuiu o peso do bolo úmido do bagaço.

Palavras chave: Sorghum bicolor (L) Moench, fertilização, biomassa, etanol

CAPÍTULO I

Introdução Geral

INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da população mundial em dimensões aceleradas tem ocasionado preocupações com a disponibilidade de alimentos, água e energia para suprir as necessidades das demandas crescentes.

O cultivo de culturas agroenergéticas, ou seja, culturas utilizadas para produção de energia é uma alternativa ao uso dos combustíveis derivados do petróleo. Os biocombustíveis, principalmente, o biodiesel e etanol, apresentam-se como uma das alternativas renováveis para substituição dos carburantes derivados de petróleo.

No contexto mundial, o Brasil possui vantagem comparativa por possuir extensa área potencial para a produção e por estar localizado em região tropical, além de seu avançado estágio de desenvolvimento e difusão tecnológica e da sua já reconhecida potencialidade na produção de etanol.

O cultivo da cana-de-açúcar está em plena expansão, com aumentos expressivos de áreas plantadas e, conseqüentemente, produção de matéria prima energética, açúcar e etanol. Esse fato advém da pressão dos consumidores em nível mundial pela utilização de combustíveis que produzam menores impactos ambientais em comparação aos fósseis. Do mesmo modo, tem sido constatado avanço expressivo no consumo de etanol, o que está levando a implantação de várias usinas no Brasil (Ferrés, 2010).

Regiões do Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste concentram as maiores áreas plantadas da cultura de cana-de-açúcar, sendo o estado de São Paulo, o maior produtor nacional da cultura, na região Nordeste, o estado de Alagoas se destacando como maior produtor seguido de Pernambuco.

Dessa maneira, o etanol pode ser obtido de diferentes matérias-primas, no entanto, as culturas da cana-de-açúcar e do sorgo sacarino são as mais indicadas por possuírem açúcares diretamente fermentáveis, fato que contribui para a simplificação do processo, apresentando menor custo de produção e maior eficiência energética, quando comparadas a fontes amiláceas como milho, mandioca e batata-doce.

A expansão do mercado de etanol e açúcar leva o setor a projetar aumento na produção de culturas energéticas. Diante disso, para atender esse crescimento, mais áreas são plantadas e, também, novas culturas já estão sendo inseridas para complementar a produção de energia com matéria prima renovável.

É nesse cenário que a cultura do sorgo sacarino, recentemente, está sendo inserida, como alternativa viável complementar para produção de etanol nas regiões de produção.

De acordo com Fernandes (2013), comparando dados tecnológicos de sorgo sacarino e cana-de-açúcar, observou que para a primeira cultura, valores de °Brix do caldo podem variar de 15 a 19, pureza de 60 a 75%, fibra de 12 a 20%, sacarose no caldo de 8 a 13%, açúcares redutores do caldo (frutose e glicose) de 1 a 3% e açúcares recuperáveis totais do caldo de 12 a 17%, já para a cana-de-açúcar, esses mesmos parâmetros de interesse industrial correspondem a 18 a 25 °Brix, 80 a 90% de pureza, 10 a 15% de fibra, sacarose do caldo de 14 a 22%, açúcares redutores do caldo de 0,5 a 1% e açúcares redutores totais do caldo de 15 a 24%. Produção entre 50 e 65 litros de etanol por tonelada de colmos e estimativas de produtividade de etanol entre 4.544 L.ha⁻¹ e 6.636 L.ha⁻¹ através da caracterização do caldo extraído dos colmos do cultivar de sorgo sacarino BRS 506 (Borges et al., 2010).

Parrella et al. (2010) avaliaram o comportamento de 25 cultivares de sorgo sacarino em ambientes distintos, visando produção de etanol, onde concluíram que é possível produzir entre 40 e 70 L ton⁻¹ de biomassa de etanol.

Resultados de produção de etanol entre 1.281 L.ha⁻¹ e 5.414 L.ha⁻¹ foram encontrados a partir de trabalho realizado em três épocas distintas de corte com cinco cultivares diferentes de sorgo sacarino após o florescimento (0, 20 e 40 DAF) (Zhao et al., 2009). Emygdio et al. (2011) estimaram, considerando as produtividades médias de colmos obtidas em Pelotas – RS, para o cultivar de sorgo sacarino BR 506, entre 48 e 70 t.ha⁻¹, em média 55 L.ton⁻¹ de etanol originados dos colmos, possibilitando produzir entre 2.640 e 3.850 L.ha⁻¹ do biocombustível.

Esses resultados promissores reforçam a idéia de que a produção de etanol, a partir de sorgo sacarino, é uma importante alternativa para complementar a cana-de-açúcar e otimizar o uso de máquinas, equipamentos e mão-de-obra na indústria sucroenergética, podendo proporcionar a ampliação do funcionamento das usinas, aumentando a eficácia das mesmas e diminuindo custos de produção.

Além das vantagens citadas acima, os grãos e subprodutos também podem ser destinados para outros fins como produção de alimentos para animais.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a resposta da aplicação de diferentes doses de torta de filtro e vinhaça na cultura do sorgo sacarino visando produção de biomassa e estimativa para produção de etanol.

REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), matéria-prima utilizada na fabricação de açúcar, etanol, aguardente, cachaça ou forragem, é uma planta de origem tropical pertencente à classe Monocotiledônea, família Poaceae (Gramínea) e gênero *Saccharum*. Atualmente, existem 32 espécies identificadas e catalogadas. As principais espécies conhecidas têm sua origem na Oceania (Nova Guiné) e Ásia (Índia e China), sendo as mais importantes a *Saccharum officinarum* L., *Saccharum spontaneum* L., *Saccharum sinense* Roxb, *Saccharum barberi* Jesw e *Saccharum robustum* Jesw. As cultivares utilizadas comercialmente, na atualidade, no Brasil e no mundo, para fins industriais são híbridos interespecíficos, envolvendo duas ou mais espécies diferentes, por esta razão, o nome científico da cana-de-açúcar é *Saccharum* spp. (Figueiredo, 2010). Segundo França (2007), as *Saccharum officinarum* possuem colmos grossos muito ricos em açúcar, exigentes quanto ao clima e nutrição do solo, sendo conhecidas também como canas nobres ou tropicais, pertencem a essa espécie as antigas variedades, preta, rosa, riscada, roxa, além de outras. Suas folhas apresentam lâminas de sílica em suas bordas e bainha aberta.

O sistema radicular se desenvolve entre 30 e 50 cm de profundidade, sendo que algumas raízes podem alcançar maiores profundidades, dependendo do tipo de solo. O rizoma, com aspecto de colmo subterrâneo, tem entrenós curtos, sendo estes formados de células com capacidade rápida de se multiplicarem. Após o corte dos colmos, a porção subterrânea garante a emissão de novos rebentos (Monte, 2004).

A exploração da lavoura da cana-de-açúcar é uma das mais antigas atividades produtivas do Brasil, podendo-se dizer que sua história foi formada ao lado da história do país. No entanto, desde sua implantação até os dias de hoje, o registro de sua evolução nem sempre ocorreu de forma contínua (Moreira, 2008).

As primeiras mudas de cana-de-açúcar foram introduzidas no Brasil em 1532, por Martim Afonso de Souza, procedentes da ilha da Madeira, impulsionando a formação dos primeiros engenhos açucareiros no país. Até o século XX, a espécie *Saccharum officinarum* L. foi responsável por grande parte da matéria-prima mundial, por meio de cultivares como Bourbon e Caiana. Entretanto, o surgimento da doença *sereh* e,

posteriormente, o mosaico e a gomose, contribuíram para o início do melhoramento genético, sendo iniciado no ano de 1880 (Landell et al., 2006).

A queima do bagaço da cana gera energia elétrica por um sistema denominado cogeração, o qual representa uma fonte energética relativamente “limpa”, quando comparada a outras. As usinas utilizam essa fonte para atender às demandas internas de energia durante a safra, e fornecem o excedente para as concessionárias. Existem também outros resíduos liberados nos processos de fabricação de etanol e açúcar, como a torta de filtro e a vinhaça, sendo estes utilizados como biofertilizantes.

1.2 Agronegócio da cana-de-açúcar

A cadeia produtiva da cana-de-açúcar, atualmente, é uma das mais importantes do agronegócio brasileiro, se destacando também pelo seu contexto internacional, mas também pela sua conjuntura e perspectivas apresentadas nos últimos anos de seu desenvolvimento (Rodrigues, 2006).

Além de ser o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), o Brasil é também o maior produtor e exportador de açúcar. Atualmente a cana-de-açúcar é uma das culturas mais representativas na conjuntura socioeconômico nacional por se tratar da principal matéria-prima utilizada pela indústria sucroalcooleira para a produção de açúcar e etanol. De acordo com Oliveira (2010), a cultura que proporciona melhor matéria-prima para a produção de açúcar e etanol é a cana-de-açúcar, visto que a energia gasta no processo é fruto dos próprios resíduos gerados na indústria sucroalcooleira. Segundo Moreira (2008), a atividade canavieira foi formada em paralelo à história do país, sendo precedida pelo extrativismo de madeira para fabricação de tinta.

A agricultura brasileira tem sido bastante respeitada por conta das inovações tecnológicas ocorridas no setor sucroenergético, sendo também detentora de sistemas agroindustriais modernos voltados para a produção de biocombustível limpo, na cultura da cana-de-açúcar. Além desse fator, o Brasil possui condições de clima e solo favoráveis ao desenvolvimento da cultura, ocupando atualmente a terceira posição em área plantada no país, ficando atrás apenas da soja e do milho (Urashima et al., 2010; Freitas et al., 2011).

Para safra 2013/2014, constatou-se que a cultura da cana-de-açúcar irá continuar crescendo, em expansão, em território nacional, com previsão de aumento de área

plantada de cerca de 408 mil hectares, estimulado, principalmente, pelo aumento de área plantada na região Centro-Sul do Brasil (CONAB, 2013). A produção de cana-de-açúcar deve apresentar expansão em todos os estados considerados. As maiores expansões de produção devem ocorrer em Goiás, 81,8%; Minas Gerais, 61,2% e Mato Grosso, 27,8%. Nesses estados a cana deve se expandir através da redução de área de outras culturas e de áreas de pastagens (MAPA, 2013).

A previsão de produção de cana-de-açúcar para a região Centro-Sul deve ser de 594,1 milhões de toneladas, 11,5% maior que a produção da safra anterior. Para a região Norte/Nordeste foi considerado um aumento de cerca de 3,6%, passando dos atuais 55,93 milhões de toneladas da safra 2012/13, para 57,92 milhões na safra 2013/14. Considerando-se uma previsão total de cana-de-açúcar para ser moída de 652,02 milhões de toneladas, com aumento de 10,70% em relação à safra 2012/13, que totalizou 588,92 milhões de toneladas, resultando numa quantidade que será moída a mais de 64,89 milhões de toneladas comparativamente a safra anterior (CONAB, 2013).

No que diz respeito a produção de açúcar, na safra anterior chegando a 38,34 milhões de toneladas, prevendo um aumento na produção de açúcar de 6,88% na safra 2013/14, atingindo a marca de 40,97 milhões de toneladas, novamente impulsionada pelo crescimento de 7,44% na Região Centro-Sul. A região Sudeste deverá produzir cerca de 70,03% do açúcar no país, a região Centro-Oeste 10,21%, o Nordeste 9,87% e 8,83% na região Sul. (CONAB, 2013).

O valor percentual de açúcar total recuperável (ATR) destinado à produção de açúcar para esta safra registrou uma média geral estimada em 46,91% do total. O equivalente de cana-de-açúcar produzida para este valor de ATR foi estimado em 312,2 milhões de toneladas dos 653,81 milhões de produção. Para essa distribuição foi observado que Pernambuco, Alagoas, Paraná, São Paulo e Rio Grande do Norte são estados mais açucareiros, destinando uma grande parte da sua produção de cana-de-açúcar e do seu ATR para a produção de açúcar. O açúcar total recuperável (ATR) médio obtido na safra de 2013/14 foi de 135,7 kg/t de cana-de-açúcar.

A produção nacional de etanol na safra 2012/13 foi de 23,64 bilhões de litros e, para a safra 2013/14 a estimativa é de 27,17 bilhões de litros, um incremento de 3,53 bilhões de litros, aumento de 14,94%. Deste total, 12,02 bilhões de litros deverão ser de etanol anidro, e 15,16 bilhões de litros serão de etanol hidratado. O etanol anidro deverá ter um acréscimo de 21,96% na produção, e o etanol hidratado terá aumento de 9,93%, quando comparados com a produção de etanol da safra anterior. Na região Nordeste houve um

acréscimo de 17,94% na produção de etanol hidratado, e redução de 7,74% do etanol anidro, a região deve responder por cerca de 2,47% da produção de etanol do país.

Para os estados de Rondônia, Acre, Tocantins, Ceará, e Rio Grande do Sul os valores totais de ATR conseguidos são voltados para a produção de etanol. Destes estados, Rondônia, Acre, Ceará e Rio Grande do Sul produzem apenas etanol hidratado. Nesta safra, 53,09% da produção de ATR ou o equivalente a 339,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, deverá ser destinado à produção de etanol. A produção de etanol deverá permanecer concentrada na região Centro-Sul com 92,13% do total produzido no país, sobretudo no estado de São Paulo (51,19%), Goiás (13,86%), Minas Gerais (9,74%), Mato Grosso do Sul (8,05%), Paraná (5,55%) e Mato Grosso (3,74%).

Com relação a área cultivada com cana-de-açúcar, em território nacional, tem-se destinada à atividade sucroalcooleira, na safra 2013/14 está estimada em 8.799.150 hectares, distribuídas em todos estados produtores. O estado de São Paulo é o maior produtor com 51,31% (4.515.360 hectares) de área plantada, seguido por Minas Gerais com 8,0% (781.920 hectares), Goiás com 9,3% (818.390 hectares), Paraná com 7,04% (620.330 hectares), Mato Grosso do Sul com 7,09% (624.110 hectares), Alagoas com 5,02% (442.590 hectares) e Pernambuco com 3,25% (286.030 hectares). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3,0%. (CONAB, 2013).

A área de cana-de-açúcar destinada à produção neste ano safra deve apresentar um crescimento de 3,70% ou 314.150 hectares comparativamente à safra anterior. O aumento só não será maior por causa da intenção de plantio do Norte/Nordeste apresentar uma leve queda em relação à safra passada. A área de renovação e/ou novas áreas de canaviais previstas para acontecer na atual temporada é estimada em 16,92% das lavouras atuais (CONAB, 2013).

1.3 Resíduos gerados no beneficiamento da cana-de-açúcar e reuso agrícola

A crescente preocupação com o meio ambiente vem mobilizando vários segmentos do mercado. Inúmeros órgãos governamentais e indústrias estão se preparando para aplicar políticas ambientais que mitiguem os impactos negativos à natureza.

Depois de produzidos os resíduos industriais, estes carecem de uma destinação apropriada, no sentido de evitarem possíveis e potenciais problemas ambientais, de

forma que os mesmos necessitam receber tratamentos para o controle da poluição, exigindo para isso investimentos significativos (Pelizer et. al., 2007).

Segundo Moreira (2004), atividades ligadas à produção de etanol e açúcar geram excedente de resíduos que necessitam de destinação adequada com a finalidade de minimizar impactos ambientais.

A utilização de resíduos agroindustriais no setor sucroenergético, tem gerado resultados positivas. Assim, a vinhaça e a torta de filtro passaram a fazer parte das adubações de plantio das zonas canavieiras brasileiras.

De acordo com Elia Neto (2010), as agroindústrias sucroalcooleiras são responsáveis por gerarem diferentes tipos de resíduos provenientes dos processos de produção de etanol e açúcar, destacando-se a vinhaça e torta de filtro, que são utilizadas nas agroindústrias como fonte de nutrientes em complemento à adubação mineral.

A vinhaça é o subproduto da fabricação do etanol, composta em sua maioria, por 93% de água e 7% de sólidos, 75% dos quais correspondem à matéria orgânica. A fração sólida é constituída, principalmente, de compostos orgânicos e elementos minerais, dos quais cerca de 20% é K, o nutriente determinante para a definição da dose a ser aplicada nos solos (Marques, 2006). Observando os efeitos principais da vinhaça sobre os atributos químicos do solo, Canella et al., (2003), constatou elevação no pH, onde esta modificação está relacionada com o ambiente reduzido imposto pela vinhaça devido à sua elevada demanda bioquímica de oxigênio. Outros efeitos nos solos, relacionados com os complexos de troca, como o aumento da saturação por potássio, da soma de bases, da capacidade de troca de cátions e do aumento nos teores de macro e micronutrientes (Canella et al., 2003). Segundo Lelis Neto (2012) são gerados em torno de 13 litros de vinhaça para cada litro de etanol produzido.

Sendo considerada uma suspensão de sólidos orgânicos e minerais, a vinhaça, contendo os componentes do vinho, vinhoto ou restilo, não arrastados na fase de destilação, além de quantidades residuais de açúcar e álcool. É uma suspensão com teor de sólidos, com cerca de 7%, desses 75% orgânicos e biodegradáveis, apresentando elevadas DQO e DBO, por conta desse fator seu alto potencial poluidor, somando-se a isso, apresentando solução tamponada com pH em torno de 4,3, quando obtida em altas temperaturas, fato que lhe atribui característica corrosiva (Laime et. al. 2011).

Segundo Rossetto & Dias (2005), a torta de filtro, incorporada ao solo, em doses elevadas, poderá corrigir acidez do solo, por conta da atividade quelatinizante da matéria orgânica sobre o alumínio. Provêm da mistura de bagacilho moído e lodo da

decantação, apresenta altos teores de matéria orgânica, fósforo e cálcio. Pela sua natureza orgânica, a torta de filtro favorece no aumento da capacidade de retenção de água pelo solo, contribuindo para o controle da umidade do solo. Ainda, segundo Rossetto (2009), a torta de filtro é constituída de 12 a 18 g.kg⁻¹ de fósforo e cerca de 70% de umidade. Além dessas qualidades, a torta apresenta alto teor de cálcio e praticamente 50% do fósforo da torta pode ser considerado como prontamente disponível, sendo o restante disponibilizado de forma mais lenta.

1.4 Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor moench.*)

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) moench.), originário da África é uma espécie vegetal da família das gramíneas, assim sendo designada devido ao seu produto primário estável formado no processo de fotossíntese, constituindo um açúcar de quatro carbonos (C4), a exemplo da cana-de-açúcar e do milho (Teixeira et al., 1999; Taiz e Zeiger, 2004; Gnansounou et al., 2005; Almodares e Hadi, 2009; Souza, 2011).

Existem diversos tipos de sorgo, existindo a sacarina (produção de etanol), granífera (produção de grãos para alimentação animal) e forrageira (produção de biomassa para fins de silagem) as mais empregadas para fins agrônômicos (May et al., 2011; Souza, 2011; Podkówka e Podkówka, 2011 e Vasilakoglou et al., 2011).

No entanto, com menor expressão no mercado, em comparação às culturas de cana-de-açúcar e milho, o sorgo sacarino apresenta baixa representatividade econômica, particularidade que está ligada diretamente à fatores de produção em pequenas áreas de cultivo, menores que as do milho e cana-de-açúcar, por ser uma cultura de segunda safra (plantado posteriormente as culturas de verão), somando-se a isso, os baixos investimentos em adubação e tecnologias agrícolas, resultam em baixos resultados de produção (IBGE, 2012).

Segundo Ximenes et al. (1988), pesquisas com sorgo sacarino iniciaram-se por volta da década de 70, onde recebeu apoio maciço do governo federal, com a intenção de reduzir a dependência de petróleo e, também, por conta do programa Proálcool, que buscavam novas e modernas fontes renováveis de matérias primas para a produção de biocombustível (etanol).

Possuindo teores superiores a 8 °brix, o sorgo sacarino, voltado para produção de biocombustível (etanol), obtém elevada produção de biomassa e proporciona um

mínimo de 80 Kg.t⁻¹ de açúcares totais recuperáveis (ATR) em seu caldo (May et al., 2011; Souza, 2011).

De acordo Gnansounou et al. (2005), Almodares e Hadi (2009) e Vasilakoglou et al. (2011) a frutose e glicose (monossacarídeos), maltose e sucrose (dissacarídeo) e rafinose (trissacarídeo) são os açúcares levedáveis (fermentável) principais encontrados no caldo do sorgo sacarino.

O etanol pode ser produzido a partir de inúmeras fontes de carboidratos presentes em matérias-primas vegetais, como milho, beterraba, batata e sorgo doce, entre outras culturas (Berg, 2004). Na produção de etanol combustível pela levedura *S. cerevisiae* a sacarose presente no caldo da cana é primeiramente hidrolisada pela enzima invertase extracelular em glicose e frutose, que serão captados e fermentados pelas células, produzindo assim o etanol (Espírito Santo, 2012).

O sorgo, segundo Coelho (2011), com sua elevada rusticidade, alcançando sua maior potencialidade produtiva apenas em condições satisfatórias de fertilidade e disponibilidade hídrica. Os nutrientes mais exigidos por esta cultura são o Ca, N, Mg e K (Santi et al., 2006; Coelho, 2011).

Além disso, o sorgo sacarino oferece como vantagens fisiológicas maior resistência ao estresse hídrico, elevada habilidade fotossintética, sendo capaz de produzir em solos de restrita fertilidade e solos marginais (Coelho et al., 2002).

Uma das muitas vantagens em se utilizar o sorgo sacarino como matéria prima renovável na produção de etanol (combustível) se deve ao sistema de cultivo e tratos culturais serem similares aos utilizados na cultura do milho e da cana-de-açúcar (Souza, 2011), pois na colheita do sorgo sacarino utiliza-se de maquinários de preparo de solo e de cultivos análogos de outras espécies, como a cana-de-açúcar (Ximenes et al., 1988).

A produtividade de etanol obtido de sorgo sacarino, varia entre 40 e 70 L de etanol por tonelada de biomassa, sendo variável de acordo com a qualidade da biomassa (diâmetro de colmo, maturidade, além de outros fatores). Em cana, a produtividade de etanol está em torno de 70 litros por tonelada de biomassa verde processada (Parrella et al., 2010).

Sob condições irrigadas, há registro de produção de colmo de sorgo sacarino da ordem de 147 t ha⁻¹, com rendimento de caldo de 53%, com a variedade SF-15, em Canindé do São Francisco-PE (Tabosa et al., 2013).

De acordo com Emygdio et al., (2011), trabalhando com três cultivares de sorgo sacarino, BR 506, Wray e Dale, avaliando-se diferentes populações de plantas,

conseguiu rendimentos médios de caldo entre 11.074 e 15.520 L ha⁻¹. Ainda, segundo Emygdio et. al. (2011) obtiveram rendimentos de caldo muito superiores para as cultivares Wray (acima de 20 mil L ha⁻¹) e BR 506 (acima de 30 mil L ha⁻¹).

Referências

- Almodares, A.; Hadi, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. African Journal of Agricultural Research [S.I.], v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.
- Berg, C. World fuel ethanol: analysis and outlook. Abril 2004. Disponível em <<http://www.distill.com/World-Fuel-Ethanol-A&O-2004.html>> Acesso em: 12 jan. de 2014.
- Borges, I. D.; Mendes, A. A.; Viana, E. J.; Gusmão, C. A. G.; Rodrigues, H. F. F.; Carlos, L. A. (2010) Caracterização do caldo extraído dos colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 (*Sorghum bicolor* L.). Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo p. 1010-1017.
- Canella, L.P. et al.. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, p.935-944, 2003.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2013. Brasília, 2013.17p.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2013 - Companhia Nacional de Abastecimento – Brasília, 2013. 19 p.
- Coelho, A. M.; Waquil, J. M.; Karam, D.; Casela, C. R.; Ribas, P. M. Seja o doutor do seu sorgo. Potafos [S.I.], n. 14 (arquivo do agrônomo) p. 24, 2002.
- Coelho, A. M. Fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sorgo sacarino. Agroenergia em Revista [S.I.], v. 3, p. 18-19, 2011.
- Elia Neto, A. Produção industrial: resíduos sólidos. In: Seminário-Produção Sucroalcooleira SMA-SP, 4, 2010, Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/camaras/eventos/14_05_2010/4.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2014.
- Emygdio B.M.; Afonso, A.P.S; Oliveira, A.C.B.; Parrella, R.; Schaffert, R.E.; May, A. (2011) Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob

- diferentes densidades de plantas. Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 22 p.
- Espírito Santo, J. C. A. Aperfeiçoamento da fermentação de sacarose através da modificação da expressão dos genes *SUC2* e *AGT1* em linhagens diplóides de *Saccharomyces cerevisiae*. 2012. 136 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- Fernandes, Pedro Gonçalves. Avaliação agronômica de dois cultivares de Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em Sete Lagoas – MG. 2013. 89 f. (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 2013.
- Ferrés, D. H. S.. Competitividade dos Biocombustíveis no Brasil: uma comparação entre os principais biocombustíveis – etanol e biodiesel. Dissertação (Mestrado Profissional). Escola de Economia de São Paulo. 167 f, 2010.
- Figueiredo, P. Breve História da Cana-de-açúcar e do Papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: Miranda, L.L.D.; Vasconcelos, A.C.M.; Landell, M.G.A. de. (ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. 882 p. cap. 1, p. 31-44.
- França, B. H. C.; Jasinski, M. Cultivo de cana-de-açúcar. Dossiê Técnico, Rio de Janeiro. 19 p. Novembro, 2007. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjgw>. Acesso em: Janeiro de 2014.
- Freitas, L; Casagrande, J. C.; Desuó, I. C. Atributos físicos e químicos de solos cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento nativo. *Holos Envolviment*, v.11, p.137-146, 2011.
- Gnansounou, E.; Dauriat, A.; Wyman, C. E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology* [S.I.], v. 96, n. 9, p. 985-1002, 2005.
- IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. v. 25. n. 8. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2012. p. 1-88.
- Laime, E. M. O., Fernandes, P. D., Oliveira, D. C. de S., Freire, E. de A. Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*. v. 5, n. 3, p. 16, 2011.
- Landell, M.G.A. de.; Bressiani, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: Miranda, L.L.D.; Vasconcelos, A.C.M.; Landell, M.G.A.de. (ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882 p. cap. 5, p. 101-155.

- Lelis Neto, J. A. Aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial e seus efeitos nos perfis de distribuição iônica e atributos físicos e químicos de um Nitossolo. 2012, 138 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2012.
- Marques, M.O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: Segato, S.V.; Pinto, A.S.; Jendiroba, E.; Nóbrega, J.C.M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Editoral 2006. p. 369-375.
- May, A.; Albuquerque Filho, M. R.; Rodrigues, J. A. S.; Landau, E. C.; Parrella, R. A. C.; Massafera, R. Cultivares de sorgo para o mercado Brasileiro na safra 2011/2012. In: SORGO, E. M. E. (Ed.). Sete Lagoas, MG: Embrapa, 2011. p. 28.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Projeções do agronegócio : Brasil 2012/2013 a 2022/2023 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica – Brasília : Mapa/ACS, 2013. 96 p.
- Moreira, Carmen Zita de Oliveira. Questões ambientais e sustentabilidade da cana-de-açúcar em São Miguel dos Campos-Alagoas. 2004. 184 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Núcleo de Pós-Graduação em Geografia, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe. Documento sergipano.
- Moreira, M. M. R. Análise prospectiva do padrão de expansão do setor sucroenergético brasileiro: uma aplicação de modelos probabilísticos com dados georeferenciados. 2008, 151 f. (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- Oliveira, B. G. Vinhaça da cana-de-açúcar: fluxos de gases de efeito estufa e comunidades de archaea presente no sedimento do canal de distribuição. 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2010.
- Parrella, R.A.C.; Meneguchi, J.L.P.; Ribeiro, A.; Silva, A.R.; Parrella, N.L.D.; Rodrigues, J.A.S.; Tardin, F.D.; Schaffert, R.D. (2010) Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diversos ambientes visando produção de etanol. Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28; Simpósio Brasileiro sobre Lagarta do Cartucho, 4, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 256-263.
- Pelizer, L. H., Pontieri, M. H., Moraes, I. O. Utilização de Resíduos Agro-Industriais em Processos Biotecnológicos como Perspectiva de Redução do Impacto

- Ambiental. *Journal of Technology Management & Innovation*. v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007.
- Podkówka, Z.; Podkówka, L. Chemical composition and quality of sweet sorghum and maize silages. *Journal of Central European Agriculture [S.I.]*, v. 12, n. 2, p. 294-303, 2011.
- Rodrigues, L.O. Processo de terceirização e a presença de arranjos institucionais distintos na colheita da cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 120 p, 2006.
- Rossetto, R.; Dias, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 110, p. 6-11, 2005.
- Santi, A.; Camargos, S. L.; Scaramuzza, W. L. M. P.; Scaramuzza, J. F. Deficiência de macronutrientes em sorgo. *Ciência Agrotécnica [S.I.]*, v. 30, n. 2, p. 228-233, 2006.
- Santiago, A. D.; Rossetto, R. Adubação: resíduos alternativos. 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-açucar/arvore/contag01_39_711200516717.html>. Acesso em: 20 dez. 2013.
- Souza, V. F. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino. (2011). 53 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba - MG, 2011.
- Tabosa, J. N., Barros, A. H. C., Brito, A. R. M. B., Simplicio, J. B. Cultivo do Sorgo no semi-árido brasileiro: Potencialidades e utilizações. In: Figueiredo, M. B. U. [et al.] - Recife - PE: Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA/EMATER/SEAGRI - AL, p.133 - 162, 2013.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- Teixeira, C. G.; Jardine, J. G.; Nicolella, G.; Zaroni, M. H. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. *Pesq. Agropec. Bras. [S.I.]*, v. 34, n. 9, p. 1601-1606, 1999.
- Urashima, A. S.; Ganem Júnior, E. J.; Marchetti, L. B. L.; Gagliardi, P. R. Incidência de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* em variedades de cana-de-açúcar a serem empregados para multiplicação no Estado de São Paulo. *Summa phytopathol*, v.36, p.322-328, 2010.
- Vasilakoglou, I.; Dhima, K.; Karagiannidis, N.; Gatsis, T. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. *Field Crops Research [S.I.]*, v. 120, n. 1, p. 38-46, 2011.

- Ximenes, P. A.; Freire, A. C.; Júnior, W. N. M. Avaliação do potencial agronômico de algumas cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*). Anais Esc. Agron. e Vet. [S.I.], v. 18, n. 1, p. 109-115, 1988.
- Zhao, Y.L., Dolat, A., Steinberger, Y., Wang, X., Osman, A., & Xie, G.H. (2009). Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. Field Crops Res. 111:55-64.

CAPÍTULO II

**Vinhaça e Torta de filtro nos atributos de um Latossolo Vermelho
e na produtividade do Sorgo Sacarino**

Vinhaça e Torta de filtro nos atributos de um Latossolo Vermelho e na produtividade do Sorgo Sacarino

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar doses de vinhaça e torta de filtro (adubação de fundação) sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico. O experimento foi realizado na Estação Experimental do IPA, Vitória de Santo Antão, PE, no período de Julho à Outubro de 2013, constituído de dois tratamentos e cinco níveis de aplicação de doses de vinhaça (0; 19,42; 77,68; 155,36 e 310,72 m³.ha⁻¹) e cinco doses de torta de filtro (0; 2,75; 11,0; 22,0 e 44,0 t ha⁻¹), em blocos casualizados com quatro repetições, sendo testada a variedade do IPA de Sorgo Sacarino SF-15. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão, utilizando o software SAS, com níveis de significância de 5% para o teste F. Com relação aos atributos químicos do solo tratados com torta de filtro foram verificados efeitos lineares significativos (p<0,05) para os teores de fósforo, cálcio e capacidade de troca de cátions (CTC) no solo. Já para a vinhaça foi verificado efeito quadrático significativo (p<0,05) nas doses de vinhaça aplicadas proporcionando redução no teor de fósforo no solo, ocorrendo, posteriormente, incremento de 8,88% com a dose máxima de vinhaça. Para os atributos pH, magnésio, sódio, potássio, CTC e saturação por bases (V%) o teste F foi significativo.

Palavras-chave: vinhaça, torta de filtro, adubação orgânica, fertilização

Vinasse and filter cake on the attributes of an Oxisol and productivity of Sweet Sorghum

Abstract: This study aimed to evaluate doses of vinasse and solid sugarcane residue (fertilization foundation) on the chemical properties of an Oxisol. The experiment was carried out at Agricultural Research Institute Experimental Station, located in state of the Pernambuco, Northeast, Brazil, during the period July to October 2013. The experimental design was randomized blocks with two independent factors, 5 vinasse doses (0; 19,42; 77,68; 155,36 and 310,72 m³ ha⁻¹) and 5 levels of solid sugarcane residue (0; 2,75; 11,00; 22,00 and 44,00 t ha⁻¹), with 4 repetitions, analyzed in a significance level of 5% for F test. Data were subjected to analysis of variance and regression, using SAS software, with significance levels of 5 % for the F test. With

respect to chemical soil treated filter cake were found significant linear effect ($p < 0,05$) for phosphorus, calcium and cation exchange capacity (CEC) in the soil. As for vinasse was found significant quadratic effect ($p < 0.05$) at doses of vinasse applied resulting in a reduction in phosphorus content in soil, occurring later increment of 8,88% with a maximum dose of vinasse. Attributes for pH, magnesium, sodium, potassium, cation exchange capacity and base saturation (V%) the F test was significant.

Keywords: vinasse, solid sugarcane residue, organic fertilization, fertilization

Introdução

Embora a maior produtividade de etanol, no Brasil, seja obtida da cana-de-açúcar, diversas culturas podem ser utilizadas com o mesmo objetivo, entre elas, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Whigt et al. 2012; Laopaiboon et al. 2009). Neste contexto, o sorgo sacarino tem sido considerado matéria prima que pode ser empregado para a produção de etanol combustível, devido ao alto rendimento de biomassa que possui, além de um teor considerável de açúcar fermentável e apresentar capacidade de crescer sob condições ambientais adversas como, a seca, alagamento e a salinidade (Guigou et al., 2011).

Comparando dados tecnológicos de sorgo sacarino e cana-de-açúcar, Fernandes (2013) observou que para o sorgo o grau brix do caldo pode variar de 15 a 19, pureza de 60 a 75%, fibra de 12 a 20%, sacarose do caldo de 8 a 13%, açúcares redutores do caldo (frutose e glicose) de 1 a 3% e açúcares redutores totais do caldo de 12 a 17%, abordando a cana-de-açúcar, para os mesmos parâmetros industriais iremos encontrar grau brix do caldo de 18 a 25 °Brix, 80 a 90% de pureza, 10 a 15% de fibra, sacarose do caldo de 14 a 22%, açúcares redutores do caldo de 0,5 a 1% e açúcares redutores totais do caldo de 15 a 24%. Produção na faixa de 50 a 65 litros de etanol por tonelada de colmos e produção estimada de etanol entre 4.544 L.ha⁻¹ e 6.636 L.ha⁻¹ através da caracterização do caldo extraído dos colmos do cultivar de sorgo sacarino BRS 506 (Borges et al., 2010).

Além das características citadas, o cultivo, os tratos culturais, assim como as tecnologias de colheita e pós-colheita aplicadas são análogas as empregadas na cultura da cana-de-açúcar(Souza, 2011), permitindo que o sorgo sacarino seja utilizado na entressafra por apresentar ciclo que varia entre 120 e 130 dias, garantindo, desta

maneira, a não ociosidade da indústria sucroalcooleira pela ausência de matéria prima. Nesse sentido, com o atual cenário brasileiro, onde verificamos crescimento do setor e uma maior demanda por matéria prima de qualidade, que possa satisfazer o período de entressafra nas agroindústrias canavieiras se faz necessária a utilização de outras culturas como o sorgo sacarino, responsivo à adubação com biofertilizantes (vinhaça e torta de filtro) gerados nas próprias unidades agroindustriais.

O setor sucroalcooleiro gera grandes volumes de resíduos, que necessitam de destinação adequada com a finalidade de minimizar impactos ambientais (Chirstofoletti et al. 2013). Dentre os resíduos gerados, a vinhaça é o mais importante, por causa do alto poder poluidor e da grande quantidade gerada, a cada 1 L de etanol produzido são produzidos, em média, 13 litros de vinhaça (Lima et al., 2013). A torta de filtro é um resíduo composto da mistura de bagacilho moído e do lodo de decantação proveniente do processo de tratamento do caldo que, após extração da sacarose, este resíduo apresenta 75 a 80% de umidade, se constituindo um excelente composto orgânico para solos de baixa fertilidade (Santos et al., 2011). A vinhaça e a torta de filtro apresentam, em sua composição química, elevada concentração de matéria orgânica e de nutrientes, principalmente, potássio, fósforo, nitrogênio, enxofre, cálcio, magnésio e micronutrientes (De lima et al., 2013; Santos et al., 2011), sendo seu emprego associado à melhoria da fertilidade e da estrutura física do solo, devido ao alto teor de nutrientes e de matéria orgânica presentes nestes resíduos (Lima et al., 2013).

Está prevista para a safra 2013/2014 uma área plantada de cana-de-açúcar de aproximadamente 8,8 milhões de hectares, estimando-se uma produção igual a 38,81 milhões de toneladas de açúcar e 27,66 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2013). No âmbito regional, o estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de cana-de-açúcar, atrás do estado de Alagoas, com uma área plantada de 286.030 hectares e produção de etanol total igual a 294.911,4 milhões de litros. Em termos de produção total de etanol, na safra 2012/13 contabilizou 23,64 bilhões de litros, com estimativas para a safra 2013/14 de 27,17 bilhões de litros, um incremento de 3,53 bilhões de litros. A região nordeste deve responder por 2,47% da produção de etanol do país (CONAB, 2013). O estado de Pernambuco produziu na safra de 2013/2014 o equivalente a 79.282 m³ de etanol hidratado e 146.822 m³ de etanol anidro (SINDAÇÚCAR, 2013).

Portanto, existe nesse setor uma produção alta de resíduos sólidos e líquidos que podem e necessitam serem utilizados como fertilizantes, já que estes possuem características consideráveis para a agricultura, além de reduzirem custos.

Doelsch et al. (2009) constataram que a fertirrigação com vinhaça, por período de nove anos, propiciou maior mineralização da matéria orgânica em um Argissolo Amarelo distrófico, sendo este fato creditado à grande concentração de nutrientes e matéria orgânica existentes no resíduo. Comparando o efeito causado pelo uso de doses de torta de filtro (0; 9,25; 18,5; 27,75 e 35 g vaso⁻¹) e adubação mineral (0, 50 e 100% da recomendação) na fertilidade de um Espodosolo cultivado com cana-de-açúcar, Almeida Júnior et al. (2011) comprovaram que a aplicação de torta de filtro aumentou os teores de macro e micronutrientes e reduziu os teores de Al do solo promovendo uma ação corretiva da acidez do solo, ao contrário dos fertilizantes minerais que acidificaram o solo. Além disso, os autores concluíram que o uso da torta de filtro associada à adubação mineral maximiza a produção da cultura, a fertilidade do solo e reduz os custos de aquisição de fertilizantes minerais. Respostas semelhantes foram obtidas por Vasconcelos et al. (2010), quando compararam os atributos químicos e físicos de um Latossolo Amarelo distrocoeso localizado em uma área cultivada com cana-de-açúcar localizada no município de Rio Largo, AL. Comparando o solo que recebeu os resíduos (vinhaça e vinhaça + torta de filtro) com o solo irrigado e fertilizado quimicamente e o de mata nativa, concluíram que o solo das áreas cultivadas que receberam resíduos orgânicos da cana-de-açúcar, na forma da aplicação de vinhaça e de vinhaça adicionada de torta de filtro, apresentaram menor deterioração dos atributos físicos e químicos do solo.

Basso et al. (2013), avaliando a viabilidade técnica da utilização da vinhaça como fonte alternativa de K na sucessão aveia preta/milho silagem/milho safrinha nas alterações dos atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm, em Latossolo Vermelho, pôde constatar que é possível substituir a adubação mineral com cloreto de K e com residual para os cultivos subsequentes, sem prejuízo para a cultura.

Bebé et al. (2009), observaram ao avaliar as alterações físico-químicas em dois Espodosolos e dois Argissolos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça que houve alteração influenciadas pela aplicação de vinhaça, além das diferentes características físicas dos solos, ocorrendo também aumento no teor de potássio nas profundidades dos solos onde foram fertirrigadas com vinhaça. Quando aplicada de forma correta, cerca de 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça pode substituir uma adubação de 61 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 343 kg ha⁻¹ de potássio e 108 kg ha⁻¹ de cálcio (Medeiros et al., 2003). Brito et al. (2005) constataram que doses crescentes de vinhaça incrementaram a

concentração de potássio trocável no solo, especialmente nas camadas mais superficiais do Argissolo estudado.

Assim, diante dos resultados alcançados pelas pesquisas que reutilizaram resíduos gerados nas indústrias sucroalcooleiras como fonte de fertilizantes, este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico fertilizado com vinhaça e torta de filtro e cultivado com sorgo sacarino a ser utilizado como alternativa para produção de etanol.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na Estação Experimental Luiz Jorge da Gama Wanderley da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA, localizada em Vitória de Santo Antão, Zona da Mata de Pernambuco, cujas coordenadas geográficas são: 08°08'00" de latitude e 35°22'00" de longitude, no período de Julho à Outubro de 2013. O clima, de acordo Thornthwaite & Matter (1995), é seco subúmido megatérmico (C₁S₂Aa), com temperaturas máxima, mínima e média de 33,1; 18,9 e 25,4°C, respectivamente; precipitação média anual de 1.050 mm ao ano e evapotranspiração média de 1.100 mm e umidade relativa média do ar de 67%. O solo da área experimental, coletado na profundidade de 0-20 cm foi classificado, segundo EMBRAPA (2006), como Latossolo Vermelho distrófico. Objetivando à caracterização dos atributos físicos e químicos do solo, treze amostras simples foram coletadas em cada bloco, por meio de trado e, posteriormente, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm, sendo homogeneizadas, formando duas amostras compostas. As análises dos atributos físicos e químicos do solo da área experimental (Tabela 1) foram realizadas nos Laboratórios de Química e Fertilidade de Solos pertencentes à UFRPE e no Laboratório de mecânica dos solos pertencente à UFRPE, seguindo-se os métodos descritos pela EMBRAPA (1997).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho distrófico antes da aplicação dos resíduos agroindustriais (Vinhaça e Torta de filtro).

Atributos	Teor
Areia (g 1000g ⁻¹)	596,5
Silte (g 1000g ⁻¹)	113,5
Argila (g 1000g ⁻¹)	290,0
Densidade do solo (kgdm ⁻³)	1,88
Densidade de partícula (Kgdm ⁻³)	2,55
pH (água - 1:2,5)	5,30
Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,33
Sódio (cmol _c dm ⁻³)	0,07
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	1,50
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	1,20
Fósforo (mgdm ⁻³)	9,65
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,10
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	3,30
SB (cmol _c dm ⁻³)	3,10
CTC pot (cmol _c dm ⁻³)	6,40
V (%)	48,44
m (%)	1,56
C.O ¹ (gKg ⁻¹)	10,45
M.O ² (gKg ⁻¹)	18

⁽¹⁾ C.O.: Carbono orgânico total do solo; ⁽²⁾M.O.: Matéria orgânica total do solo

A vinhaça e a torta de filtro utilizadas foram provenientes da Usina JB, localizada no município de Vitória de Santo Antão, PE. A determinação da composição química da vinhaça (Tabela 2) foi realizada no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UFPE e no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos da UFRPE, seguindo a metodologia proposta por APHA (2003). A determinação dos parâmetros químicos da torta de filtro (Tabela 3) foi realizada conforme a metodologia proposta por Bezerra Neto & Barreto (2011).

Tabela 2. Características físico-químicas da Vinhaça utilizada no ensaio.

Parâmetros	Teor
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	2,76
pH	4,16
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	168,00
Fósforo (mg L ⁻¹)	130,20
Potássio (mg L ⁻¹)	854,75
Sódio (mg L ⁻¹)	130,13
Cálcio (mg L ⁻¹)	118,20
Magnésio (mg L ⁻¹)	61,90
Matéria Orgânica (mg L ⁻¹)	11,07

Tabela 3. Composição físico-química da torta de filtro utilizada no ensaio.

Parâmetros	Teor
Condutividade elétrica (dS.m ⁻¹)	3,64
pH	7,27
Nitrogênio total (g Kg ⁻¹)	11,55

Fósforo (g Kg ⁻¹)	12,44
Potássio (g Kg ⁻¹)	10,20
Cálcio (g Kg ⁻¹)	23,21
Magnésio (g Kg ⁻¹)	1,98
Enxofre (g Kg ⁻¹)	5,67
Sódio (g Kg ⁻¹)	3,00
Umidade (%)	54,24
Matéria Orgânica (%)	70,98

Antes do cultivo, o solo foi preparado para o plantio por meio das operações de aração e gradagem, para posterior sulcamento em linhas espaçadas de 0,80 m e com profundidade de 0,30 m. A irrigação foi realizada por gotejamento, por meio de fita flexível de marca Netafim de 16,2 mm e emissores gotejadores espaçados de 0,30 m e vazão de 1,60 L h⁻¹, sendo a lâmina de água aplicada em cada irrigação estimada para atender a evapotranspiração da cultura, utilizando dados climatológicos provenientes da estação do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, localizada no município de Vitória do Santo Antão, durante o ciclo completo da cultura foi aplicada lâmina de 483,60 mm (Figura 1).

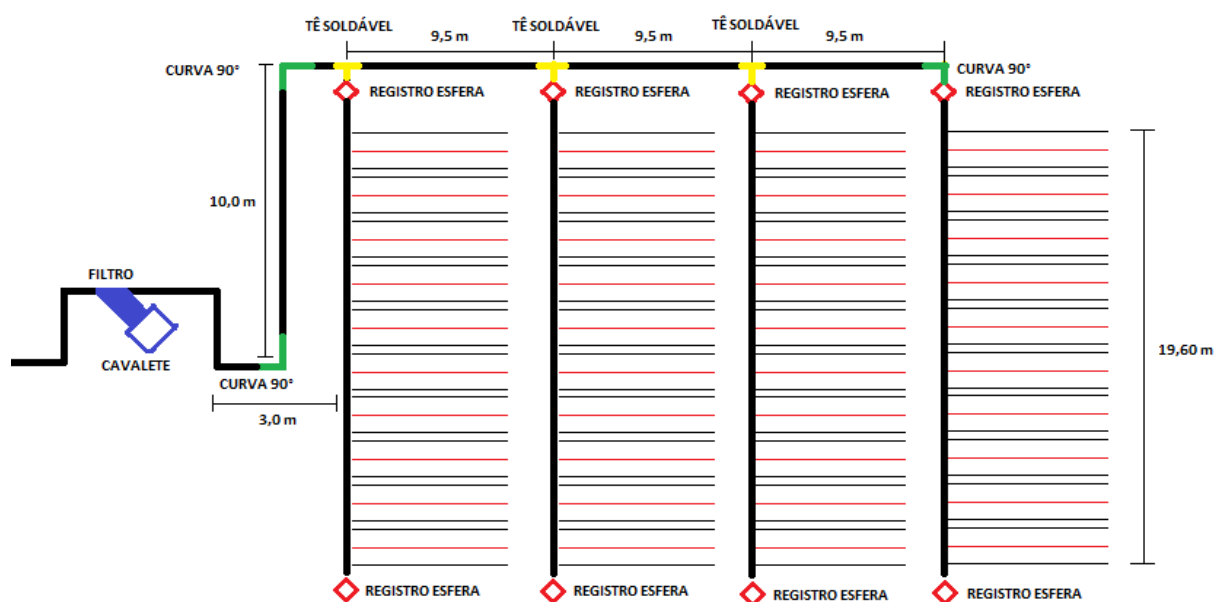


Figura 1. Croqui do sistema de irrigação utilizado (gotejamento).

A cultura utilizada foi a variedade de sorgo sacarino SF-15, com a semeadura realizada no vigésimo dia após a aplicação da vinhaça e da torta de filtro no solo, tempo necessário para estabilização de seus nutrientes. Em cada cova foram dispostas três sementes, após a germinação foi realizado o desbaste, mantendo-se apenas uma planta por cova. Durante o período de condução do experimento, as práticas culturais foram

constituídas por capinas manuais e controle fitossanitário utilizando defensivos naturais (Rot Neem) e catação manual, considerando uma área de plantio orgânico.

O delineamento experimental foi em blocos casualizado, constituído de dois fatores independentes (cinco níveis de aplicação com doses de vinhaça (0; 19,42; 77,68; 155,36 e 310,72 m³ha⁻¹) e cinco níveis de torta de filtro (0; 2,75; 11,0; 22,0 e 44,0 t ha⁻¹), com quatro repetições. A dose inicial de vinhaça aplicada ao solo foi calculada com base na concentração de potássio encontrada na mesma, assim como no teor de potássio no solo e na exigência do nutriente para a cultura do sorgo seguindo a recomendação do IPA (2008). Para o cálculo das doses de torta de filtro foi considerado o teor de nitrogênio na mesma, assim como na recomendação do IPA (2008). Tanto para vinhaça como para torta de filtro, foram levados em conta os fatores multiplicativos quatro, oito e dezesseis vezes a partir da dose ideal para o cálculo das doses crescentes. A área experimental possuía área total de 715,4 m² (19,6 x 36,5m), sendo constituída por 4 blocos com 30 linhas de cultivo cada, onde 10 linhas com oito metros de comprimento correspondiam aos tratamentos, apresentando bordadura lateral de um metro para cada lado, cultivadas com 12 plantas por metro linear (150.000 plantas.ha⁻¹), com espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,083 m entre plantas e, 1,5 m entre blocos (Figura 2).



Figura 2. Croqui demonstrativo da área experimental em campo.

A caracterização dos atributos químicos do solo foi realizada de acordo com a metodologia descrita em EMBRAPA (1997) determinando-se os seguintes parâmetros: teores de P, K⁺ e Na⁺ trocáveis obtidos através da solução extratora Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) e leitura realizada por colorimetria e fotometria de chamas, respectivamente; teores de Ca²⁺, Mg²⁺ trocáveis obtidos por meio da solução extratora de KCl 1 mol L⁻¹ com leitura feita por espectrometria de absorção atômica. O teor de alumínio trocável (Al⁺³) foi obtido mediante a extração com solução KCl 1 mol L⁻¹ com determinação volumétrica utilizando solução diluída de NaOH 0,025N, enquanto a acidez potencial (H+Al) foi obtida através da extração utilizando acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e titulação com NaOH 0,05N. O hidrogênio extraível foi calculado pela diferença entre acidez potencial e alumínio trocável. Para a determinação do carbono orgânico, utilizou-se do método titulométrico com o emprego de dicromato de potássio em meio sulfúrico e, para determinação da matéria orgânica utilizou-se do fator 1,724 multiplicado pelo teor de carbono orgânico da amostra de solo. De posse dos elementos trocáveis do solo foram calculados a capacidade de troca de cátions (CTC), a soma de bases trocáveis (S), a percentagem de saturação por bases trocáveis (V) e a percentagem de saturação por Alumínio (m) conforme a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com níveis de significância de 5% para o teste F e os dados foram submetidos à análise de regressão.

Resultados e Discussão

Para os atributos pH, cálcio, magnésio, sódio, potássio, capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%) o teste F foi significativo (Tabela 4). Houve efeito isolado estatisticamente significativo ($p < 0,05$) pelo teste F para os seguintes atributos químicos no solo: fósforo, cálcio e CTC com as doses de torta de filtro aplicadas. Já para a vinhaça aplicada houve efeito quadrático significativo apenas no teor de fósforo.

Tabela 4. Valores médios obtidos dos atributos de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a aplicação de vinhaça e torta de filtro (adubação de fundação).

Vinhaça (m ³ ha ⁻¹)	Variáveis							
	pH*	Ca**	Mg*	Na ^{ns}	K*	CTC _{pot} ^{ns}	SB**	V%**
0	6,0	1,58	0,92	0,98	0,82	5,37	3,15	58,62
19,42	6,0	1,75	1,12	1,00	0,82	5,89	3,56	60,78
77,68	6,1	1,76	1,22	1,00	0,82	5,44	3,69	68,16
155,36	5,8	1,45	1,03	0,97	0,82	5,37	3,13	57,95
310,72	6,0	1,47	0,97	0,97	0,81	5,15	3,11	60,71
CV(%)	1,83	9,25	11,39	1,54	0,55	5,00	8,27	6,64
Torta de Filtro (t ha ⁻¹)	Variáveis							
	pH*	Mg*	Na ^{ns}	K*	SB**	V%**		
0	6,1	1,12	1,01	0,81	3,46	65,41		
2,75	6,1	1,01	0,99	0,79	3,27	61,81		
11,00	6,2	0,97	0,94	0,85	3,92	73,10		
22,00	6,3	0,90	0,98	0,79	3,85	69,68		
44,00	6,6	0,95	0,96	0,81	5,17	79,42		
CV(%)	3,31	8,36	2,77	3,02	18,85	9,77		

^{ns,*,**} Não significativo; significativo a 5 e 1%, respectivamente; SB: soma de bases; V%: saturação por bases; CV: coeficiente de variação

Houve efeito significativo ($p < 0,05$) pelo teste F para os valores de fósforo encontrados no solo, com as doses crescentes de vinhaça aplicadas, apresentando efeito quadrático negativo (Figura 3). Com as doses crescentes de vinhaça ocorreu inicialmente supressão nos teores de P do solo. Posteriormente, houve uma tendência crescente muito lenta com o aumento das doses de vinhaça, doses 0; 77,68 e 310,72 m³ ha⁻¹ para os teores de 9,65; 9,62 e 7,32 mg dm⁻³ de P no solo, respectivamente. Compararmos o teor inicial de P disponível no solo sem aplicação da vinhaça de 9,65 mg dm⁻³ com o teor de P no solo que recebeu a maior dose (310,72 m³ ha⁻¹) de 7,32 mg dm⁻³ pode-se constatar decréscimo no teor de P no solo da ordem de 24%. Foi possível determinar a dose mínima de vinhaça (251,00 m³ ha⁻¹), detectando teor de fósforo no solo de 6,67 mg dm⁻³. Com isso, foi possível verificar um incremento de 8,8% no teor de fósforo do solo (7,32 mg dm⁻³) quando aplicada a dose máxima de vinhaça.

De acordo com Malavolta (1997), teores de fósforo em níveis considerados adequados nos solos devem variar entre 21 a 30 mg dm⁻³, necessitando, possivelmente, de maior dosagem de vinhaça para atingir esse nível recomendado. Outra possível causa para essa redução do teor de P no solo tenha sido a baixa solubilidade dos compostos de fósforo no solo e formação de compostos não-lábeis ou não reativos, ou seja, quando fontes solúveis de P, na forma de fertilizantes e resíduos orgânicos, são adicionadas ao solo, inibindo a assimilação desse elemento por parte das plantas, especialmente quando se trata da utilização de resíduos orgânicos como fonte de adubação, conforme Rolim

Neto et al. (2004). Ainda, segundo Rolim Neto et al. (2004), Latossolos apresentam maior capacidade em adsorver e reter ânions, tais como os fosfatos, apresentando como agravante que este tipo de solo é bastante pobre em fósforo disponível.

Em ensaio realizado, Azania (2003) observou que a aplicação de doses crescentes de vinhaça como fonte de adubação em Latossolo Vermelho utilizando a cultura da cana-de-açúcar não alterou ou proporcionou aumento no teor de fósforo do solo.

Ribeiro et al. (2011), avaliaram o efeito da vinhaça sobre a adsorção de fósforo em amostras da fração argila de dois solos (Latossolo Vermelho e Gleissolo Melânico), onde puderam concluir que o tratamento da fração argila com vinhaça reduziu a adsorção de P, possivelmente devido ao bloqueio dos sítios de adsorção de P pelos compostos orgânicos da vinhaça e, também, pelo aumento da carga líquida negativa da fração argila. Silva et al. (2004), utilizando a cultura do sorgo forrageiro adubado com resíduo tratado originário de feccularia em lisímetros instalados em campo, observaram redução do teor de fósforo disponível no solo com a elevação das doses de manipueira, onde o menor teor de P ($1,63 \text{ mg dm}^{-3}$) foi encontrado na maior dose de manipueira ($900 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

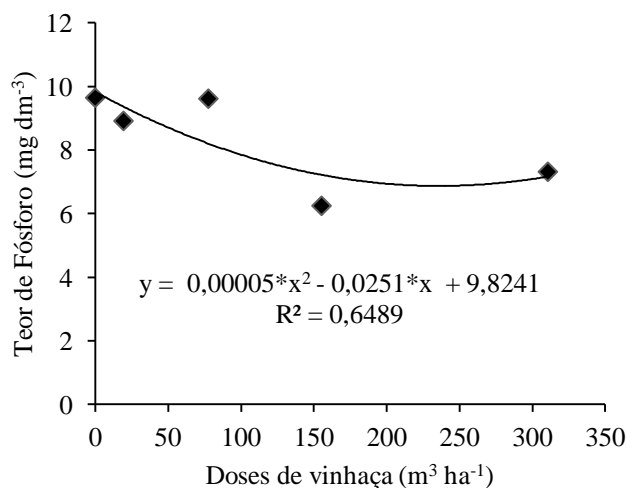


Figura 3. Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função das doses de vinhaça aplicadas no solo.

Com o aumento das doses de torta de filtro foi observado aumento nos teores de fósforo no solo (Figura 4). Ocorreu efeito positivo significativo ($p < 0,05$) pelo teste F, para os valores de fósforo do solo para a torta de filtro aplicada. A aplicação das doses de torta de filtro promoveu expressivo incremento nos teores de P do solo, indicando a

eficiência do resíduo em suprir P nos solos. Esses resultados confirmam os resultados obtidos por Nardim (2007), onde ao avaliar o uso de torta de filtro sobre as propriedades químicas de um Argissolo constatou aumentos significativos nos teores de P na camada 20-40 cm.

Pode-se observar nesses dados efeito linear decorrente da inserção de doses crescentes de torta de filtro no solo, apresentando teor de P de $9,65 \text{ mg dm}^{-3}$ (na ausência de torta de filtro) e $62,50 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo com a maior dose ($44,0 \text{ t ha}^{-1}$), portanto, a aplicação de torta de filtro no solo foi responsável pelo acréscimo de 547% de fósforo no solo. Almeida Júnior et al. (2011), avaliando o efeito de doses crescentes de torta de filtro sobre os atributos químicos de um Espodossolo observou aumento significativo ($p < 0,05$) do teor de fósforo com o aumento das doses, os resultados corroboram com os obtidos por Fravet et al. (2010), em estudo realizado em campo com cana-soca, ao averiguarem que a utilização de 70 t ha^{-1} de torta de filtro ocasionou aumento de produção de colmos na cultura da cana-de-açúcar. Esses mesmos benefícios com a utilização da torta de filtro foi descrito por Santos et al. (2010), onde verificaram, utilizando a cultura da cana-de-açúcar em condições de campo com Latossolo Vermelho distrófico, resposta da cultura à adubação com torta de filtro ao solo.

De acordo com as classes de fertilidade de solo proposta por Cavalcanti et al. (2008), os teores de P do solo foram classificados como níveis alto (acima de 10 mg kg^{-1}). Os resultados obtidos neste estudo fornecem um indicativo do potencial da torta de filtro como fonte fosfatada.

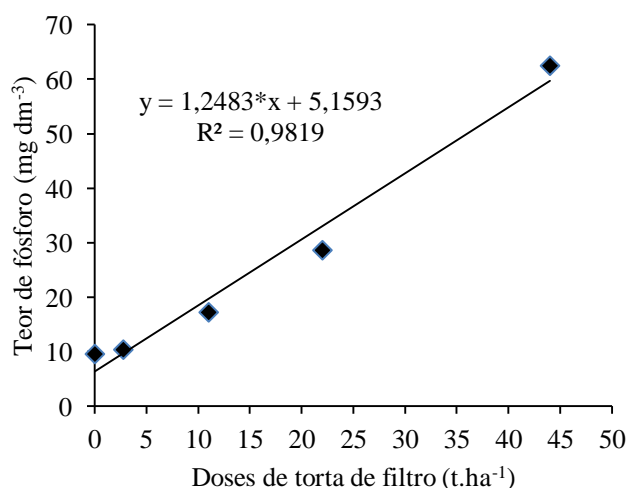


Figura 4. Concentração de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função das doses de torta de filtro aplicadas no solo.

Foi observado efeito linear crescente no teor de cálcio no solo com o aumento das doses de torta de filtro (Figura 5), ocorrendo diferença significativa ($p < 0,05$) através do teste F para os valores constatados no solo. Quando comparado o teor de cálcio disponível do solo sem torta de filtro ($1,64 \text{ cmolc dm}^{-3}$) com o que recebeu a maior dose correspondente a 44 t ha^{-1} ($3,20 \text{ cmolc dm}^{-3}$), pôde-se notar aumento de 95% do teor desse elemento no solo.

Nardim (2007) confirmam os resultados obtidos neste trabalho quando ao avaliar o uso de torta de filtro sobre as propriedades químicas de um Argissolo verificou acréscimos significativos nos teores de cálcio na camada 20-40 cm.

Almeida Júnior et al. (2011), aplicando doses crescentes de torta de filtro sobre um Espodosolo observou aumento significativo ($p < 0,05$) nos teores de cálcio do solo; onde esse aumento está relacionado a composição química da torta de filtro, de certo que, o cálcio é proveniente da caleação do caldo durante o método de clarificação do mesmo adicionado o cal $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ promovendo elevação do pH auxiliando no tratamento das impurezas. De acordo com Malavolta (1997), os teores de cálcio trocáveis no solo considerados adequados devem ser maiores que $0,4 \text{ cmolc dm}^{-3}$, nesse sentido, pode afirmar que os teores de cálcio verificados estão adequados.

Santos (2012), ao avaliar o efeito residual da adubação de plantio com torta de filtro sobre a produtividade e a qualidade da cana-de-açúcar verificou, na camada 20-40 cm, incremento nos teores de cálcio com as doses de torta de filtro aplicadas no solo por ocasião do plantio, comparando com o tratamento que não recebeu o resíduo.

Vila (2011), corroborando com os resultados obtidos neste experimento, evidenciou aumento nos teores de cálcio do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm do solo, correspondendo a $1,75$ e $1,51 \text{ cmolc dm}^{-3}$, respectivamente, em comparação com os valores encontrados anteriormente sem aplicação dos resíduos ($0,57$ e $0,61 \text{ cmolc dm}^{-3}$ nas camadas). A torta de filtro auxilia na mobilização do cálcio, possivelmente devido aos radicais orgânicos vinculados ao nutriente, favorecendo a presença do elemento na forma trocável na solução do solo (Fravet, 2010). De acordo com Rossetto et al. (2008) e confirmando com os resultados observados, a utilização da torta de filtro, aumenta a produtividade das culturas disponibilizando matéria orgânica, fósforo e cálcio, além de outros nutrientes.

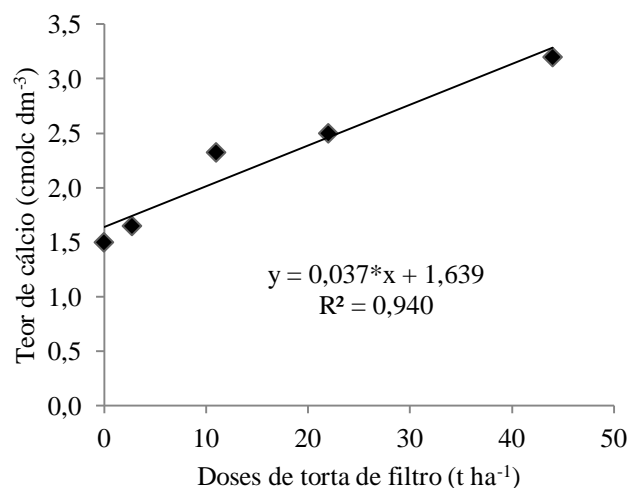


Figura 5. Concentração de cálcio no solo (cmolc dm⁻³) em função das doses de torta de filtro aplicadas no solo.

Foi verificado efeito significativo ($p < 0,05$) pelo teste F em função do aumento das doses de torta de filtro sobre a CTC do solo (Figura 6), em virtude do aporte principalmente de sódio, cálcio e magnésio. Esse aumento, considerando as doses do resíduo foi de cerca de 21,1%, correlacionando a testemunha com a maior dose de torta de filtro aplicada, seguindo um comportamento crescente linear ($R^2 = 0,86^*$).

Busato (2008), avaliando a utilização de doses de torta de filtro em um Latossolo Amarelo observou incremento no comportamento da CTC ao longo do tempo como aumento das doses.

Pires et al. (2008) confirmam os resultados alcançados neste trabalho quando ao avaliar diferentes adubos orgânicos, incluindo a torta de filtro, em Neossolo Flúvico na cultura do maracujazeiro-amarelo sobre as características químicas e físicas do solo, demonstrando elevação da CTC do solo na camada superior adubado com torta de filtro.

Vários fatores podem ter contribuído para o aumento significativo da CTC do solo adubado com torta de filtro, como o teor de matéria orgânica, a quantidade de argila nesse material, além do tipo e da superfície específica dessa argila. Quanto maior essa superfície, maior será a sua CTC por aumentar a área de contato, melhorando a adsorção catiônica (Dadalto & Fulin, 2001). Tais resultados são importantes principalmente pelo fato de a região em estudo apresentar solos arenosos, que geralmente têm baixa CTC e apresentam-se mais susceptíveis à perda de nutrientes por lixiviação.

Prado et al. (2013), corrobora, informando que resíduos como a torta de filtro, produzidos em larga escala por agroindústrias sucroalcooleiras necessitam serem utilizadas na agricultura como fontes melhoradoras da fertilidade dos solos,

apresentando resultados satisfatórios substituindo parcial ou totalmente as fontes minerais, seguindo-se recomendações de centros de pesquisas importantes procurando evitar danos ambientais.

O aporte de material orgânico é essencialmente significativo para solos da região Nordeste, onde oferecem teores baixos de matéria orgânica, sendo a torta de filtro uma opção para realização da manutenção da matéria orgânica do solo, em razão da sua ajuda nas melhorias das características físicas, químicas e biológicas do solo.

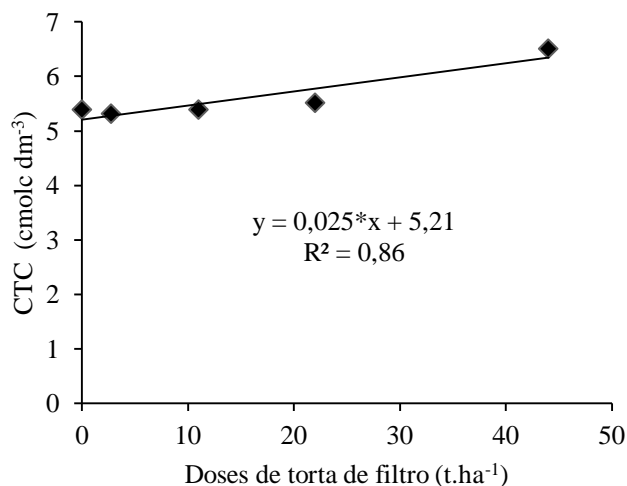


Figura 6. Variação da CTC (cmolc dm⁻³) em função das doses de torta de filtro aplicadas no solo.

Conclusões

1. Não ocorreram alterações nos atributos químicos do solo para as doses aplicadas dos resíduos agroindustriais com relação aos atributos químicos: pH, potássio, magnésio, sódio, alumínio trocável, hidrogênio e saturação por bases (V%).
2. Com relação a aplicação de doses de vinhaça, foi verificado redução do teor de fósforo no solo com o aumento das doses, ocorrendo, posteriormente elevação desse nutriente com aplicação da dose máxima.
3. A aplicação de torta de filtro promove melhoria na fertilidade do solo, por aumentar os teores de fósforo, cálcio e elevar a CTC do solo. Recomenda-se a utilização desse resíduo como forma de maximizar e melhorar a qualidade do solo e reduzir custos com fertilizantes minerais.

Referências

- Almeida Júnior, A. B. de, Nascimento, C. W. A. do, Sobral, M. F., Silva, F. B. V. da, Gomes, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.15, n.10, p.1004–1013, 2011.
- American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environmental Federation – APHA; AWWA; WPCF. 2003. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 19ª ed. Washington, DC, USA, 920 p.
- Azania, A. A. de P. M. Influência de subprodutos da indústria alcooleira nos atributos químicos do solo e em plantas de cana-de-açúcar, guaxuma e capim braquiária.– Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP-Jaboticabal, v 81, p.93, 2003.
- Basso, C. J., Santi, A. L., Lamego, F. P., Somavilla, L., Brigo, T. J.. Vinhaça como fonte de potássio: resposta da sucessão aveia-preta/milho silagem/milho safrinha e alterações químicas do solo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.4, p.596-602, abr, 2013.
- Bebé, F. V., Rolim, M. M., Pedrosa, E. M. R., Silva, G. B., Oliveira, V. S.. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.6, p.781–787, 2009.
- Bezerra Neto, E.; Barreto, L. P. *Análises químicas e bioquímicas em plantas*. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 267 p. 2011.
- Borges, I. D.; Mendes, A. A.; Viana, E. J.; Gusmão, C. A. G.; Rodrigues, H. F. F.; Carlos, L. A. (2010) Caracterização do caldo extraído dos colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 (*Sorghum bicolor* L.). Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo p. 1010-1017.
- Busato, J. G.. *Química do húmus e fertilidade do solo após adição de adubos orgânicos*. Tese (Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro – RJ, p.152, 2008.
- Ribeiro, B. T., Lima, J. M. de, Curi, N.. Geraldo César de Oliveira e Pedro Luiz Terra Lima. Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. *Revista Química Nova*, v.34, nº1, p.5-10, 2011.

- Cardoso, E.; Cardoso, D.; Cristiano, M.; Silva, L.; Back, A. J.; Bernadim, A. M.; Paula, M. M. S. Use of manihot esculenta, crantz processing residue as biofertilizer in corn crops. *Research Journal of Agronomy*, v.3, p.1-8, 2009.
- Cavalcanti, F. J. de A. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3 ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco- IPA, 2008, 212 p.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2013 - Companhia Nacional de Abastecimento – Brasília, 2013. 19 p.
- Christofoletti, C. A., Escher, J. P., Correia, J. E., Marinho, J. F. U., Fontanetti, C. S.. Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Management*. v. 33, p.2752-2761, 2013.
- Dadalto, G.G. & Fullin, E.A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo. 4ª aproximação. Vitória, SEEA/INCAPER, 2001. 266p.
- Doelsch, E.; Masion, A.; Cazevielle, P.; Condom, N. Spectroscopic characterization of organic matter of a soil and vinasse mixture during aerobic or anaerobic incubation. *Waste Management*, v.29, n.6, p.1929-1935, 2009.
- Elia Neto, A. Produção industrial: resíduos sólidos. In: Seminário-Produção Sucroalcooleira SMA-SP, 4, 2010, Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/camaras/eventos/14_05_2010/4.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2014.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília - DF: Embrapa, 2006, 2a ed. 412p.
- Fernandes, Pedro Gonçalves. Avaliação agrônômica de dois cultivares de Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em Sete Lagoas – MG. 2013. 89 f. (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 2013.
- Fravet, P. R. F. de; 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 e Agrotecnologia*, v.34, p.618-624, 2010.

- Guigou, M., Lareo, C., Pérez, L. V., Lluberas, M. E., Vázquez, D., Ferrari, M. D. Bioethanol production from sweet sorghum: Evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation. *Biomass and bioenergy*, v. 35, p.3058-3062, 2011.
- Hargreaves, G. H.; Samani, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering Agriculture*, v.1, n.2, p.96-99, 1985.
- IPA - Instituto Agrônômico de Pernambuco. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. Recife: IPA, 2008. 64p.
- Júnior, A. B. de A., Nascimento, C. W. A. do, Sobral, M. F., Silva, F. B. V. da, Gomes, W. A.. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.10, p.1004–1013, 2011.
- Laopaiboon, L., Nuanpeng, S., Srinophakun, P., Klanrit, P., Laopaiboon, P.. Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplement. *Bioresource Technology*. v.100, p. 4176–4182, 2009.
- Lima, R. P., Rolim, M. M., Dantas, M. S. M., da Costa, A. R. F. C., Duarte, A. de S., Silva, A. R.. Atributos químicos de um Neossolo Regolítico distrófico em função das doses e tempos de aplicação de vinhaça. *Revista Agroambiente On-line*, v. 7, n. 3, p. 261-268, dezembro, 2013.
- Malavolta, E. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- Medeiros, S. C. L.; Ribeiro, S. R.; Coneglian, C. M. R.; Barros, R. M.; Brito, N. N.; Dragoni Sobrinho, G.; Tonso, S.; Pelegrini, R. Impactos da agroindústria canavieira sobre o meio ambiente. In: Fórum de Estudos Contábeis, 3, 2003, Rio Claro, Anais... Rio Claro: UNICAMP, 2003. CD Rom.
- Nardim, R. R. Torta de filtro aplicada em Argissolo e seus efeitos agrônômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas. 2007. Dissertação (Mestrado) – Manejo em Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agrônômico. Campinas – SP, 2007.
- Pires, A. A., Monnerat, P. H., Marciano, C. R., Pinho, L. G. da R., Zampirolli, P. D., Rosa, R. C. C., Muniz, R. A.. Efeito da Adubação Alternativa do Maracujazeiro-amarelo nas Características Químicas e Físicas do Solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1997-2005, 2008.

- Prado, R. de M., Caione, G., Campos, C. N. S.. Filter Cake and Vinasse as Fertilizers Contributing to Conservation Agriculture. *Applied and Environmental Soil Science* v. 2013, p.8, 2013.
- Rolim Neto, F. C.; Schaefer, C. E. G. R.; Costa, L. M.; Corrêa, M. M.; Fernandes Filho, E. I.; Ibraimo, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.953- 964, 2004.
- Rossetto, R.; Dias, F. L. F.; Vitti, A. C. Problemas nutricionais dos solos nas novas fronteiras canavieiras. *Revista Idea News*, v.8, p.78-90, 2008.
- Santos, D. H.; Tiritan, C. S.; Foloni, J. S. S.; Fabris, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.40, p.454-461, 2010.
- 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*. v.15, n.5, p.443–449, 2011.
- Santos, D. H. dos. Efeito residual da adubação de plantio com torta de filtro e fosfato solúvel na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônômicas. São Paulo-Botucatu, p. 97, 2012.
- Silva, F. F. da; Freitas, P. S. L.; Bertonha, A.; Rezende, R.; Gonçalves, A. C. A.; Dallacort, R. Impacto da aplicação de efluente maturado de fecularia de mandioca em solo e na cultura do sorgo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.26, p.421-427, 2004.
- Silva, F. G., Mesquita, F. L. T., Silva, S. G., Tabosa, J. N. Oliveira, F. F., Brito, C. F. de. VARIEDADE DE SORGO FORRAGEIRO SF – 15 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Secretaria de Agricultura do Governo de Alagoas. Divisão de Pesquisa Agropecuária – DIPAP. 2008.
- Silva, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª Ed. Brasília: EMBRAPA, 2009.
- Silva Júnior, J. J.; Coelho, E. F.; Santa'Ana, A. V.; Santana Júnior, E. B.; Pamponet, A. J. M. Uso da manipueira na bananeira 'Terra Maranhão' e seus efeitos no solo e na produtividade. *Irriga*, v.17, p.353-363, 2012.
- Sindicato da Indústria do Açúcar e do Álcool no Estado de Pernambuco (SINDAÇÚCAR). Disponível em: <

- http://www.sindicucar.com.br/produtos_etanol_producao.html>. Acesso em: 28 fev. de 2014.
- Souza, Vander Fillipe de. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros - Janaúba, 53p. 2011.
- Thornthwaite, C. W.; Matter, J. R. The water ouudget and its use irrigation. In: Thornithwaite, C. W.; Matter, J. R. (Eds.) Water the year book of agriculture. Washington: USDA, 1995. p.356-358.
- Vasconcelos, R.F. B., Cantalice, J. R. B., Oliveira, V. S., Costa, Y. D. J., Cavalcante, D. M. Estabilidade de Agregados de um Latossolo Amarelo Distrocoeso de Tabuleiro Costeiro sob Diferentes Aportes de Resíduos Orgânicos da Cana-de-Açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.309-316, 2010.
- Villa, E. P. Fertilização de um solo arenoso com torta de filtro e vinhaça para a cultura da cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Solo e Nutrição de Plantas. Paraná, p. 80, 2011.
- Wight, J.P., Hons F.M., Storlien, J.O., Provin, T.L., Shahandeh, H., Wiedenfeld, R.P.. Management effects on bioenergy sorghum growth, yield and nutrient uptake. Biomass and bioenergy, v.46, p. 593-604, 2012.

CAPÍTULO III

Uso do sorgo sacarino para produção de etanol no estado de Pernambuco

Uso do sorgo sacarino para produção de etanol no estado de Pernambuco

Resumo: objetivou-se com este trabalho avaliar a utilização de sorgo sacarino fertilizado com resíduos oriundos da agroindústria para a produção de etanol como alternativa ao cultivo de cana-de-açúcar no estado de Pernambuco. O experimento foi realizado na Estação Experimental do IPA, Vitória de Santo Antão, PE, no período de Julho à Outubro de 2013. O delineamento experimental foi em blocos casualizado, constituído de dois fatores independentes (cinco níveis de aplicação com doses de vinhaça (0; 19,42; 77,68; 155,36 e 310,72 m³ha⁻¹) e cinco níveis de torta de filtro (0; 2,75; 11,0; 22,0 e 44,0 t ha⁻¹)), com quatro repetições, analisados ao nível de significância de 5% para o teste F. Determinou-se, ao longo do experimento, produtividade de colmos (PRODT) t ha⁻¹ e de etanol (PRODE), Peso do bolo úmido (PBU em g), açúcar total recuperável (ATR kg t⁻¹), açúcares redutores (AR %) e Fibra (%). O uso de vinhaça e torta de filtro promoveu aumento da produção de colmos de sorgo sacarino, entretanto, só houve incremento da produção de etanol quando se utilizou a torta de filtro como fonte de nutrientes. No geral, a utilização de vinhaça e torta de filtro possibilitou o aumento das frações de açúcares redutores (AR) e açúcares totais recuperáveis (ATR), porém diminuiu o peso do bolo úmido do bagaço.

Palavras-chave: fertilizantes agroindustriais, variáveis tecnológicas, biocombustível

Use of sweet sorghum for ethanol production in the state of Pernambuco

Abstract: the objective of this study was to evaluate the use of sweet sorghum fertilized with wastes stemmed from agro-industry for the production of ethanol as an alternative to the cultivation of sugar cane in the state of Pernambuco. The experiment was carried out at Agricultural Research Institute Experimental Station, located in state of the Pernambuco, Northeast, Brazil, during the period July to October 2013. The experimental design was randomized blocks with two independent factors, 5 vinasse doses (0; 19,42; 77,68; 155,36 and 310,72 m³ ha⁻¹) and 5 levels of solid sugarcane residue (0; 2,75; 11,00; 22,00 and 44,00 t ha⁻¹), with 4 repetitions, analyzed in a significance level of 5% for F test. It was determined, during the experiment, straw yield (PRODT) t ha⁻¹ and ethanol (PRODE), weight wet cake (PBU g), total recoverable sugar (ATR kg t⁻¹), reducing sugars (AR%) and Fiber (%). The use of vinasse and solid

sugarcane residue promoted increased production of sweet sorghum stalks, however, there was only an increase of ethanol production when using the filter cake as a source of nutrients. Overall, the use of vinasse and filter cake enable the increase in fractions of reducing sugars (AR) and total recoverable sugars (ATR), but decreased the weight of the wet cake bagasse.

Keywords: agroindustrial fertilizers, technological parameters, biofuel

Introdução

Suprir a dependência de combustíveis fósseis e a demanda crescente de energia é um dos principais desafios enfrentados pelo homem no século XXI e, neste cenário, as fontes de energia renováveis aparecem como alternativa para a construção de um modelo sustentável da matriz energética (Foster-Carneiro et al., 2013).

As fontes de energia denominadas renováveis: hidráulica, biomassa, solar, eólica, geotérmica; atualmente, representam 14% da oferta energética mundial (Andrade et al., 2013); no entanto, no Brasil, a oferta de energia fornecida pelas fontes renováveis é de 42,4%, sendo que o maior percentual (15,4%) é gerada pela biomassa de cana-de-açúcar (MME, 2013), o que faz do Brasil um dos poucos países do mundo com potencial para substituir energia advindas de fontes fósseis pela energia de fontes renováveis, aumentando, assim, sua autonomia com relação à produção de biocombustíveis líquidos, principalmente, o etanol (Berman, 2008; Leite & Cortez, 2008).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar, o maior exportador de etanol e segundo maior produtor de etanol. As estimativas para a safra 2013/2014 revelam que a área plantada de cana-de-açúcar será aproximadamente de 8,8 milhões de hectares (estimativa), com produção estimada de 38,81 milhões de toneladas de açúcar e 27,66 bilhões de litros de álcool (CONAB, 2013). O estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de cana-de-açúcar da região Nordeste, com uma área plantada de 286.030 hectares e produção de etanol total igual a 294.911,4 milhões de litros (CONAB, 2013).

Embora a cana-de-açúcar seja responsável pela maior produtividade de etanol no Brasil, a demanda por combustíveis denominados limpos tem despertado o interesse no emprego de diferentes matérias primas para a produção de energia. Além da cana-de-açúcar, o etanol pode ser produzido a partir do milho, da mandioca, do sorgo sacarino

ou outra cultura agrícola rica em carboidratos fermentáveis e não compete diretamente com a produção de alimentos (Whigt et al. 2012; Laopaiboon et al. 2009).

Para Whintfield et al. (2012), das inúmeras culturas que podem ser utilizadas pra a produção de etanol, o sorgo sacarino tem uma série de qualidades que o tornam particularmente adequado, como alto rendimento de biomassa cujo teor de açúcar fermentável é alto, além de possuir crescimento rápido, elevada adaptabilidade climática e fotossintética, e ser tolerante à seca, ao alagamento e à salinidade.

Almodares & Hadi (2009) afirmam que o rendimento da cana-de-açúcar varia de 70 a 80 t ha⁻¹ e do sorgo sacarino entre 54 a 69 t ha⁻¹, no entanto para o sorgo sacarino, emprega-se 1/3 do volume de água requerido pela cana-de-açúcar, e tem-se rendimentos médios de açúcar e etanol de 7 t ha⁻¹ e 3.000 L ha⁻¹, respectivamente, os quais são semelhantes aos obtidos utilizando-se cana-de-açúcar. Além disso, o ciclo de cultivo curto (3-4 meses), o sistema de cultivo, os tratos culturais e as tecnologias de colheita e pós-colheita similares aos utilizados na cultura da cana-de-açúcar (Souza, 2011), possibilitam que o sorgo sacarino seja empregado no período da entressafra, garantido, desta forma, a não ociosidade da indústria sucroalcooleira por falta de matéria prima.

Segundo Chirstofoletti et al. (2013), atividades relacionadas à produção de etanol e açúcar geram grandes volumes de resíduos de difícil gestão e, por isso, necessitam de destinação adequada com a finalidade de minimizar impactos ambientais. Dentre os resíduos gerados pelo beneficiamento da cana, a vinhaça é o mais importante, tanto pelo alto poder poluidor quanto pela grande quantidade gerada, pois a cada 1 L de álcool produzido são produzidos, em média, 13 litros de vinhaça (Lima et al., 2013).

A vinhaça e a torta de filtro apresentam em sua composição química elevada concentração de matéria orgânica e de nutrientes, principalmente, potássio, fósforo, nitrogênio, enxofre, cálcio e magnésio, sendo amplamente utilizadas como fonte complementar de fertilizantes nos próprios canaviais, diminuindo os custos de aquisição de insumos agrícolas (Lima et al., 2013; Santos et al., 2011).

Tasso Júnior et al (2007), avaliando o efeito da adubação com vinhaça e lodo de esgoto na qualidade do caldo da cana-de-açúcar e rendimento de açúcar teórico recuperável, observaram que as produtividades de colmo e de açúcar para cana-planta foram mantidas quando N e K foram fornecidos pelo lodo de esgoto e vinhaça, respectivamente, sendo que a cana-soca apresentou maior produtividade de colmo e de açúcar quando foram utilizados os resíduos separadamente, complementados com fontes minerais. Entretanto Có Júnior et al. (2008) relataram que não houve influência da

utilização da vinhaça no teor de sacarose da cana-de-açúcar (Pol) e nos teores de sólidos solúveis do caldo (Brix).

Tendo em vista que a cultura do sorgo sacarino pode ser uma alternativa ao cultivo de cana-de-açúcar para a produção de etanol em períodos que as indústrias permanecem ociosas por falta de matéria prima, objetivou-se com este trabalho avaliar a utilização de sorgo sacarino fertilizado com resíduos oriundos da agroindústria para a produção de etanol como alternativa ao cultivo de cana-de-açúcar no estado de Pernambuco.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA, localizada em Vitória de Santo Antão, Zona da Mata de Pernambuco, cujas coordenadas geográficas são: 08°08'00" de latitude e 35°22'00" de longitude. O clima, de acordo com Thornthwaite & Matter (1995), é seco subúmido megatérmico (C₁S₂Aa), com temperaturas máxima, mínima e média de 33,1; 18,9 e 25,4°C, respectivamente; precipitação média anual de 1.050 mm ao ano e evapotranspiração média de 1.100 mm e umidade relativa média do ar de 67%.

O solo da área onde foi instalado o experimento foi classificado, segundo EMBRAPA (2006), como Latossolo Vermelho distrófico, coletado na profundidade de 0 a 20 cm. Visando à caracterização dos atributos físicos e químicos do solo, treze amostras simples foram coletadas em cada bloco, por meio de trado e, posteriormente, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm, sendo homogeneizadas, formando duas amostras compostas.

As análises dos atributos físicos e químicos do solo da área experimental anteriormente a aplicação dos resíduos (Tabela 1) foram realizadas nos Laboratórios de Química e Fertilidade de Solos pertencentes à UFRPE e ao IPA e no Laboratório de mecânica dos solos pertencente à UFRPE, seguindo-se os métodos descritos pela EMBRAPA (1997).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho distrófico antes da aplicação dos resíduos agroindustriais (Vinhaça e Torta de filtro).

Atributos	Teor
Areia (g 1000 g ⁻¹)	596,5
Silte (g 1000 g ⁻¹)	113,5
Argila (g 1000 g ⁻¹)	290,0
Densidade do solo (Kg dm ⁻³)	1,88

Densidade de partícula (Kg dm^{-3})	2,55
pH (água - 1:2,5)	5,30
Potássio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,33
Sódio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,07
Cálcio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	1,50
Magnésio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	1,20
Fósforo (mg dm^{-3})	9,65
Al^{+3} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,10
H + Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	3,30
SB ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	3,10
CTC pot ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	6,40
V (%)	48,44
m (%)	1,56
C.O ¹ (g Kg^{-1})	10,45
M.O ² (g Kg^{-1})	18

(¹) C.O.: Carbono orgânico total do solo; (²) M.O.: Matéria orgânica total do solo.

Antes do cultivo, o solo foi preparado para o plantio por meio das operações de aração e gradagem, para posterior sulcamento em linhas espaçadas de 0,80 m e com profundidade de 0,30 m. A irrigação foi realizada por gotejamento, por meio de fita flexível de marca NETAFIM de 16,2 mm e emissores espaçados de 0,30 m e vazão de $1,60 \text{ L.h}^{-1}$, sendo que a lâmina de água aplicada em cada irrigação foi estimada para atender a evapotranspiração da cultura, utilizando dados climatológicos provenientes de uma estação do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, localizada no município de Vitória do Santo Antão, durante o ciclo completo da cultura foi aplicada lâmina de 483,60 mm (Figura 1).

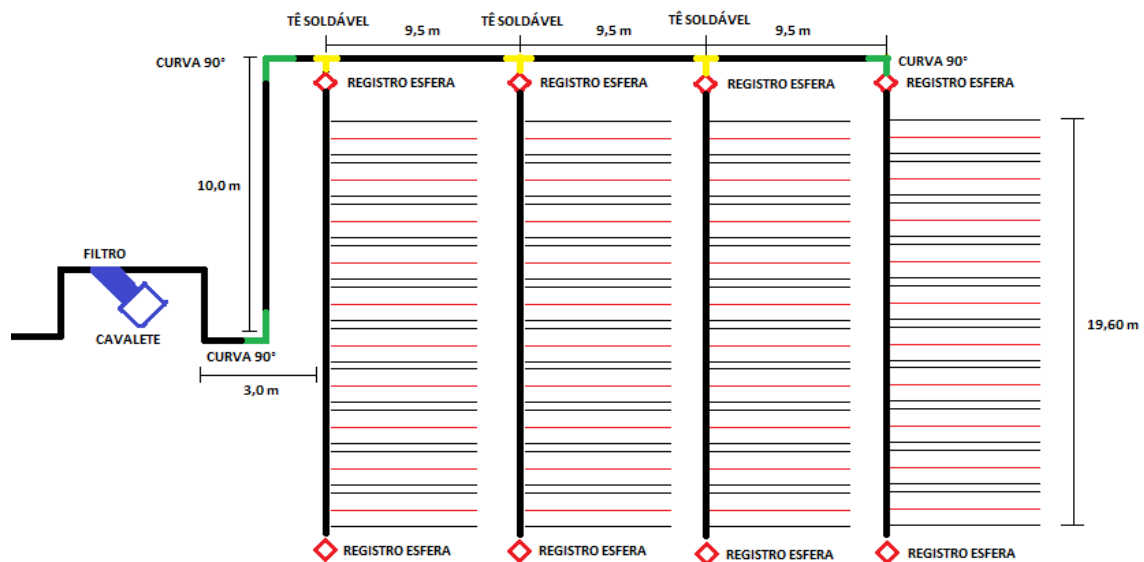


Figura 1. Croqui do sistema de irrigação utilizado (gotejamento).

A cultura utilizada foi a variedade de sorgo sacarino SF-15, com a semeadura realizada no vigésimo dia após a aplicação da vinhaça e da torta de filtro no solo, tempo

necessário para estabilização de seus nutrientes. Em cada cova foram dispostas três sementes, após a germinação foi realizado o desbaste, mantendo apenas uma planta por cova. Durante o período de condução do experimento, as práticas culturais foram constituídas por capinas manuais e controle fitossanitário utilizando defensivos naturais (Rot Neem) e catação manual, por se tratar de uma área de plantio orgânico.

O delineamento experimental foi em blocos casualizado, constituído de dois fatores independentes (cinco níveis de aplicação com doses de vinhaça (0; 19,42; 77,68; 155,36 e 310,72 m³ ha⁻¹) e cinco níveis de torta de filtro (0; 2,75; 11,0; 22,0 e 44,0 t ha⁻¹), com quatro repetições. A dose inicial de vinhaça aplicada ao solo foi calculada com base na concentração de potássio encontrada na mesma, assim como no teor de potássio no solo e na exigência do nutriente para a cultura do sorgo seguindo a recomendação do IPA (2008). Para o cálculo das doses de torta de filtro foi considerado o teor de nitrogênio na mesma, assim como na recomendação do IPA (2008). Tanto para vinhaça como para torta de filtro, foram levados em conta os fatores multiplicativos quatro, oito e dezesseis vezes a partir da dose ideal para o cálculo das doses crescentes.

A área experimental possuía uma área de 715,4 m² (19,6 x 36,5m), sendo constituída por 4 blocos com 30 linhas de cultivo cada, onde 10 linhas com oito metros de comprimento correspondiam aos tratamentos, apresentando bordadura lateral de um metro para cada lado, cultivadas com 12 plantas por metro linear (150.000 plantas.ha⁻¹), com espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,083 m entre plantas e, 1,5 m entre blocos.

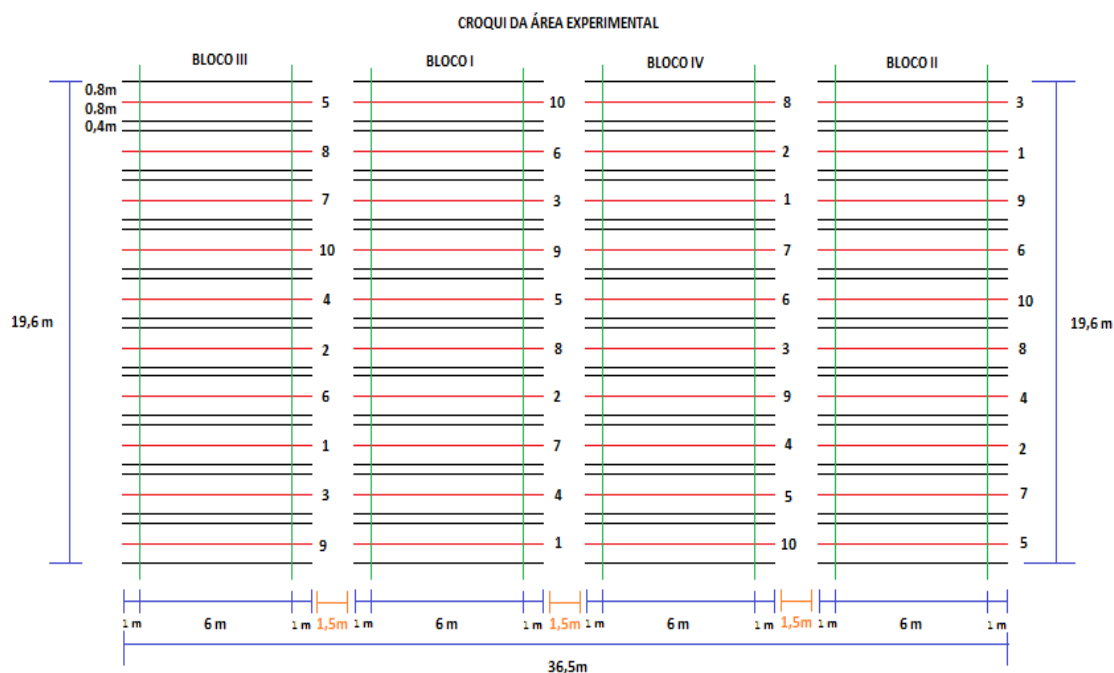


Figura 2. Croqui demonstrativo da área experimental em campo.

A vinhaça e a torta de filtro utilizadas foram provenientes da Usina JB, localizada no município de Vitória de Santo Antão, PE. A determinação da composição química da vinhaça (Tabela 2) foi realizada no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UFPE e no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos da UFRPE, seguindo a metodologia proposta por APHA (2003). A determinação dos parâmetros químicos da torta de filtro (Tabela 3) foi realizada conforme a metodologia proposta por Bezerra Neto & Barreto (2011).

Tabela 2. Características físico-químicas da Vinhaça utilizada no ensaio.

Parâmetros	Teor
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	2,76
pH	4,16
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	168,00
Fósforo (mg L ⁻¹)	130,20
Potássio (mg L ⁻¹)	854,75
Sódio (mg L ⁻¹)	130,13
Cálcio (mg L ⁻¹)	118,20
Magnésio (mg L ⁻¹)	61,90
Matéria Orgânica (mg L ⁻¹)	11,07

Tabela 3. Composição físico-química da torta de filtro utilizada no ensaio.

Parâmetros	Teor
Condutividade elétrica (dS.m ⁻¹)	3,64
pH	7,27
Nitrogênio total (g Kg ⁻¹)	11,55
Fósforo (g Kg ⁻¹)	12,44
Potássio (g Kg ⁻¹)	10,20
Cálcio (g Kg ⁻¹)	23,21
Magnésio (g Kg ⁻¹)	1,98
Enxofre (g Kg ⁻¹)	5,67
Sódio (g Kg ⁻¹)	3,00
Umidade (%)	54,24
Matéria Orgânica (%)	70,98

Por ocasião do final do experimento, foram coletadas dez plantas de cada tratamento para a determinação das variáveis tecnológicas e a produção de colmos (PRODT) t ha⁻¹ e de etanol (PRODE) em L ha⁻¹.

A metodologia adotada para a análise tecnológica seguiu as recomendações do CONSECANA (2006). A determinação do teor de sólidos solúveis do caldo (Brix) foi realizada por refratômetro digital, com correção automática da temperatura, sendo o

valor final expresso a 20 °C e o peso do bagaço (bolo) úmido utilizado para o cálculo da fibra da cana (F) foi obtido em balança semi-analítica.

O teor de sacarose aparente do caldo (Pol) foi determinado por meio da Eq. 1.

$$Pol\ do\ caldo\ (\%) = Lpb \times (0,2605 - 0,0009882 \times Brix)$$

em que:

LPb- leitura sacarimétrica equivalente à de subacetato de chumbo; Brix- teor de sólidos solúveis do caldo.

O teor de fibra da cana foi determinado por meio da Eq. 2.

$$Fibra\ (\%) = (0,08 \times PBU) + 0,876$$

em que:

Fibra - teor de fibra da cana-de-açúcar; PBU - peso do bagaço úmido da prensa, g.

A pureza (PZA) do caldo foi determinada por meio da Eq. 3.

$$Pureza\ (\%) = 100 \times \frac{Pol}{Brix}$$

em que:

Pureza - pureza do caldo; Pol - teor de sacarose aparente do caldo; Brix - teor de sólidos solúveis do caldo.

O teor de açúcares redutores (AR) foi determinado por meio da Eq. 4.

$$AR\ (\%) = 3,641 - 0,0343 \times pureza$$

em que:

AR - teor de açúcares redutores; Pureza - pureza do caldo.

O açúcar total recuperável (ATR) foi determinado por meio da Eq. 5.

$$ATR\ (Kg\ ATR\ t\ colmo) = 9,5263 \times POL + 9,05 \times AR$$

em que:

ATR - açúcar total recuperável; PC - pol da cana; AR - açúcar redutor do caldo do sorgo.

Para avaliação da produtividade teórica de etanol por hectare, utilizou-se a equação proposta por Vasilakoglou et al. (2011).

$$Etanol\ (L\ ha^{-1}) = ART \times PVC \times 6,5 \times 0,85 \times \frac{1,0}{0,79}$$

Em que:

ATR = açúcar total recuperável; PVC = Peso verde do colmo; 6,5 = fator de conversão do etanol a partir do açúcar; 0,85 = eficiência do processo de fermentação e; $\frac{1,0}{0,79}$ = gravidade específica do álcool.

Os dados de biomassa e das variáveis tecnológicas foram submetidos à análise de variância, realizando-se o teste F, com níveis de significância de 5% e os dados foram submetidos à análise de regressão.

Resultados e discussão

Nas Figuras 3A e 3B são apresentadas curvas que descrevem comportamento apresentado pelos dados as variáveis de produtividade de colmos (PRODT) e produção de etanol (PRODE) em função das doses de vinhaça e torta de filtro. Foi verificado que os dados se ajustaram a modelos de equações quadráticas e lineares para as produções obtidas quando se utilizou torta de filtro e vinhaça, respectivamente. Devido à aplicação de torta de filtro, foram conseguidos valores máximos de produção de colmo e etanol iguais $49,48 \text{ t ha}^{-1}$ e $4.411,58 \text{ L ha}^{-1}$, enquanto se obteve, respectivamente, $46,76 \text{ t ha}^{-1}$ e $3.778,33 \text{ L ha}^{-1}$ de produção de colmos e de etanol quando se utilizou vinhaça como fonte de irrigação.

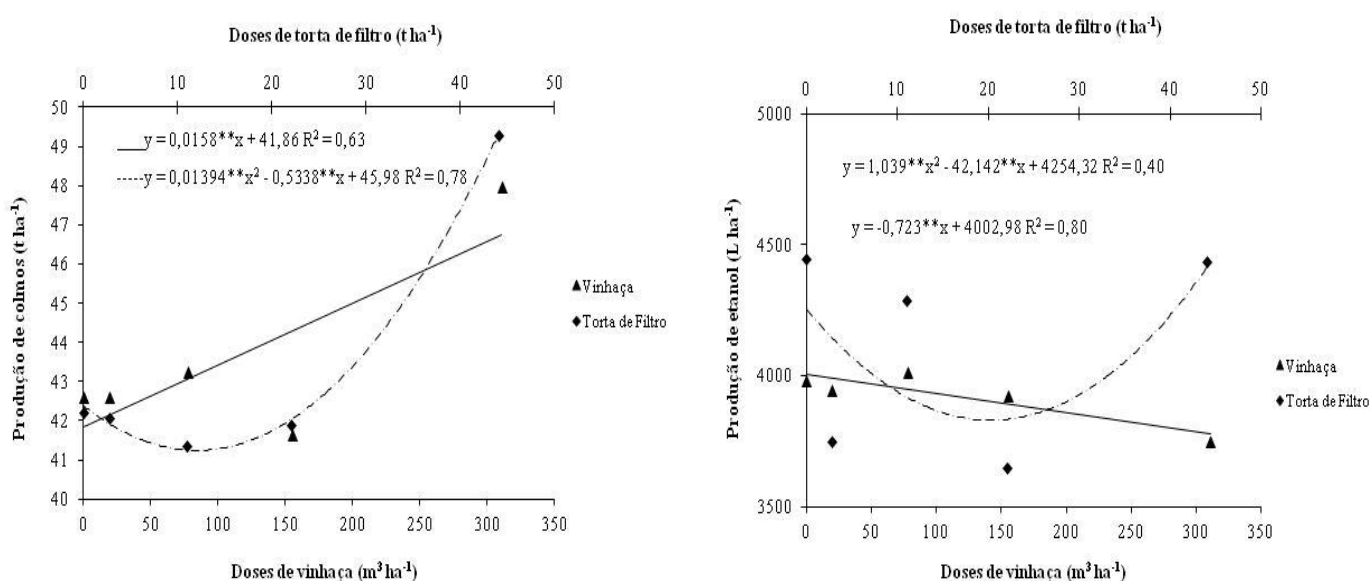


Figura 3A e 3B. Produção de colmos (PRODT) e produção de etanol (PRODE) em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro.

Segundo a Embrapa (2012), em média, as cultivares de sorgo sacarino utilizadas para a produção de etanol apresentam produtividades de colmos que variam de 40 a 60 t ha⁻¹, a depender da variedade utilizada, sendo gerados, em média, 3.000 L de etanol por

hectare (Almodares, 2009), levando a concluir que as produções de colmos e de etanol obtidas estiveram dentro dos limites esperados, independentes dos resíduos utilizados.

Giacomini et al. (2013) avaliaram a produção de colmos de vinte e cinco cultivares de sorgo sacarino e encontraram valores médios iguais a 61,00 t ha⁻¹, superior à produção obtida no presente trabalho; no entanto, a adubação com fertilizantes minerais pode ter influenciado o incremento da produção, já que, em geral, a adubação orgânica dificilmente prescinde da adubação química para que produções satisfatórias sejam alcançadas, conforme relatam Resende et al. (2009).

Tasso Júnior et al. (2007) avaliaram o efeito da aplicação de lodo de esgoto como fonte de N e de vinhaça como fonte de K sobre a produtividade e variáveis agroindustriais da cana-de-açúcar, por dois anos consecutivos (cana-planta e cana-soca) e encontraram produtividades médias de colmo na cana planta e na cana soca iguais a 126,5 e 99,3 t ha⁻¹, respectivamente, sendo as referidas produções iguais a apresentada pela testemunha (fertilizantes minerais) que foram de 125,7 t ha⁻¹ para a produção de colmos de cana planta e 105,6 t ha⁻¹ para a produção de cana-soca.

Segundo Santos et al (2014), a produção brasileira de etanol por hectare é, atualmente, de 7.000 litros, considerando-se a produtividade média nacional igual a 85 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar. Comparando-se as produtividades de etanol apresentadas no presente trabalho, 4.411,58 L ha⁻¹ e 4.227,63 L ha⁻¹, obtidas quando se utilizou, torta de filtro e vinhaça como fonte de fertilizante para o sorgo sacarino, respectivamente, com a produção de etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, observa-se uma diferença de 39%. No entanto, rapidez do ciclo de cultivo, as facilidades da mecanização da cultura e semelhança de mecanização entre o sorgo e a cana-de-açúcar, o teor relativamente alto de açúcares diretamente fermentáveis contidos no colmo e as exigências em termos de fatores climáticos podem justificar a adoção do cultivo do sorgo sacarino para a produção de etanol, principalmente, no período de entressafra da cana-de-açúcar e proporcionar um período anual completo de produção pelas agroindústrias (Cunha e Severo Filho, 2010).

O peso do bolo úmido (PBU), cujos dados estão na Figura 4, é utilizado na determinação do cálculo do teor de fibra que é utilizado no cálculo para se determinar a quantidade de açúcares totais recuperáveis, expressos em kg de ATR tonelada de cana, que é utilizado como base de cálculo para a constituição do valor da tonelada de cana (Farias et al., 2008).

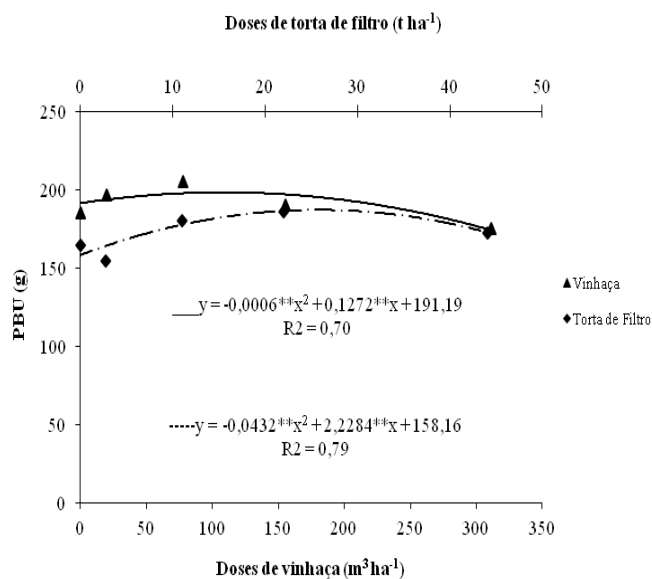


Figura 4. Peso do bolo úmido (PBU) em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro.

Mediante as curvas expostas na Figura 4, verifica-se que o peso do bolo úmido apresentou comportamento quadrático em função do incremento das doses independente do resíduo utilizado como fonte de nutrientes, atingindo valores máximos de 197,93 e 188,36 g quando se utilizou 106 m³ ha⁻¹ de vinhaça e 25,8 t ha⁻¹ de torta de filtro, respectivamente, decaindo a partir de tais doses.

Os valores de peso de bolo úmido obtidos nesta pesquisa estão em conformidade com os valores encontrados por Costa et al. (2008), quando estudaram a sistemática de cálculos para efeito de pagamento de cana pelos açúcares totais recuperáveis (ATR) nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo, encontrando um peso de bolo úmido médio igual a 150,31 g. Farias et al. (2008), avaliando os efeitos de lâminas de água de irrigação e níveis de adubação com zinco na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), encontraram correlação negativa entre o peso do bolo úmido da cana-de-açúcar e o aumento de lâminas de irrigação, sendo estimado um valor médio de peso de bolo úmido igual a 149,11 g quando se utilizou uma lâmina de 817 mm para irrigação.

Os dados de percentagem de açúcares redutores no sorgo (AR) e açúcares totais recuperáveis (ATR) foram influenciados pelas doses de vinhaça e torta de filtro (Figuras 5A e 5B).

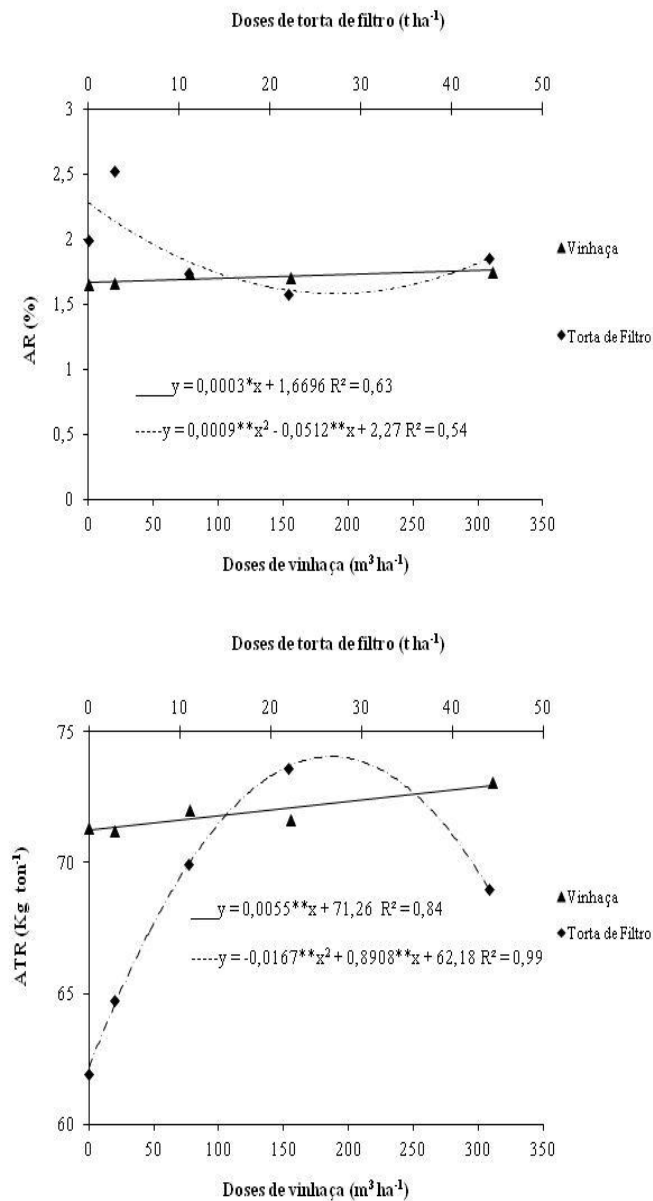


Figura 5A e 5B. Percentagem de açúcares redutores no sorgo (AR%) e açúcares totais recuperáveis (ATR Kg ton⁻¹) em função da aplicação de doses de vinhaça e torta de filtro.

Observando-se a Figura 5A, pode-se perceber que o aumento das doses de vinhaça promoveu o aumento dos açúcares redutores (AR%), sendo obtido valor máximo de 1,76% quando se aplicou a maior dose de vinhaça (310,72 m³ ha⁻¹). No entanto, o comportamento dos dados de açúcares redutores quando se utilizou a torta de filtro como fonte de nutrientes foi o contrário, decrescendo até a dose de 28,4 m³ ha⁻¹ torta de filtro, sendo estimado, pela equação de regressão, um valor mínimo dos açúcares redutores (AR%) igual a 1,54%; e após esta dose, contata-se um acréscimo. O valor máximo dos açúcares redutores (2,53 %) foi obtido devido à utilização de uma dose de

torta de filtro $2,75 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 5A). Segundo Borges et al (2010), a redução da concentração de açúcares redutores pode ser explicada pela conversão destes açúcares em amido, acumulado nos grãos e, em comparação à cana-de-açúcar, o sorgo sacarino apresenta maior concentração de açúcares redutores no caldo, podendo ser encontrados valores variando entre 1,5 a 9%. Para a cana-de-açúcar os teores de AR % podem ser de até 1,5%, não devendo superar 1% no transcorrer da safra (Co Júnior et al., 2008).

Tasso Júnior (2007) afirma que a variação da fração de açúcares no caldo (AR) de cana-de-açúcar depende de fatores como a umidade do solo, fertilização excessiva, principalmente N, presença de matéria orgânica no solo, aplicação de resíduos orgânicos. Para canas em estágio de maturação avançado, é esperado que o teor de sacarose fosse alto e a fração de açúcares no caldo de cana (AR) seja baixo, entretanto pode ocorrer a situação inversa, a depender dos fatores anteriormente citados Tasso Júnior (2007). Como a torta de filtro é rica em nitrogênio e matéria orgânica, o aumento das doses pode ter ocasionado uma diminuição no teor de açúcares redutores do sorgo, fato que não foi constatado quando se utilizou a vinhaça.

Borges et al. (2010) avaliaram a composição e o volume do caldo extraído de colmos do sorgo sacarino genótipo BRS 506 em função da época de avaliação. Os autores, também, verificaram o comportamento dos dados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa, considerando-se o uso da torta de filtro, obtendo teor de açúcares redutores (AR) que variaram 1,27 a 2,05%. Tasso Júnior et al. (2007) não constataram influência significativa do uso de lodo de esgoto e vinhaça nos valores da fração de açúcar redutores da cana-de-açúcar, variedade SP 81-3250, cultivada em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, em Pontal – SP.

Os valores de Açúcar Total Recuperável (ART) expressa o potencial da indústria em recuperar o açúcar contido na cana, na forma de açúcar ou etanol. Neste trabalho, os valores de ATR variaram de $71,34$ a $73,11 \text{ kg t}^{-1}$, quando se aplicou 0 e $310,72 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 5B). Observa-se, também, que houve comportamento quadrático em função do aumento das doses de torta de filtro aplicadas, atingindo valor máximo, estimado pela equação de regressão, igual a $74,06 \text{ kg t}^{-1}$ como mostrado na Figura 5B.

Durães (2011) afirma que é possível obter ATR (açúcares totais recuperáveis) variando de 80 a 127 kg por tonelada de massa verde, utilizando-se a mesma tecnologia utilizada nas usinas. Neste trabalho, obteve-se em média, $73,06 \text{ kg t}^{-1}$ de ATR, resultado menor do que o citado pelo referido autor. A variedade de sorgo (SF-15) adotada neste

trabalho provém de um cruzamento de uma variedade de sorgo sacarino com sorgo forrageiro, fato que pode ter influenciado no teor de ATR presente nos colmos. Borges et al. (2010), conseguiram valor máximo de açúcares totais recuperáveis (ATR) igual a 106,05 kg t⁻¹ cultivando sorgo sacarino, variedade BRS 506.

Trabalhando com cana-de-açúcar, Có Júnior et al. (2008) obtiveram valores de ATR que variaram de 158,67 a 160,94 kg t⁻¹ dependendo do resíduo utilizado (lodo de esgoto ou vinhaça) e do modo de aplicação. Os resultados encontrados por estes autores são semelhantes aos encontrados por Tasso Júnior (2007), quando estudou dez cultivares, em dois municípios da região centro-norte do Estado de São Paulo, e encontrou valores entre 137 e 166 kg t⁻¹.

Conclusões

1. O uso de vinhaça e torta de filtro promove aumento da produtividade de colmos de sorgo sacarino, entretanto, só houve incremento da produção de etanol quando se utilizou a torta de filtro como fonte de nutrientes.
2. No geral, a utilização de vinhaça e torta de filtro possibilita o aumento das frações de açúcares redutores (AR) e açúcares totais recuperáveis (ATR), porém diminui o peso do bolo úmido do bagaço.

Referências

- Almodares, A.; Hadi, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research* [S.I.], v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.
- American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environmental Federation – APHA; AWWA; WPCF. 2003. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 19^a ed. Washington, DC, USA, 920 p.
- Barbosa, E. A. A., Arruda, F. B., Pires, R. C. M., Silva, T. J. A., Sakai, E.. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.16, n.9, p.952–958, 2012.

- Bermann, C. Energia, ambiente e sociedade/artigos: Crise Ambiental e as Energias Renováveis. Rio de Janeiro, p. 1-10, 2008.
- Bezerra Neto, E.; Barreto, L. P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 267 p. 2011.
- Borges, I. D.; Mendes, A. A.; Viana, E. J.; Gusmão, C. A. G.; Rodrigues, H. F. F.; Carlos, L. A. (2010) Caracterização do caldo extraído dos colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 (*Sorghum bicolor* L.). Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo p. 1010-1017.
- Christofoletti, C. A., Escher, J. P., Correia, J. E., Marinho, J. F. U., Fontanetti, C. S.. Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. Waste Management. v. 33, p.2752-2761, 2013.
- Có Júnior, Caramo, Marques, M. O., Júnior, L. C. T. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.1, p.196-203, 2008.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2013. Brasília, 2013.17p.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2013 - Companhia Nacional de Abastecimento – Brasília, 2013. 19 p.
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Manual de Instruções. 5ª edição, Piracicaba-SP, 2006.
- Costa, J. A. B., Ponciano, N. J., S, P. M.. Avaliação da sistemática de cálculos para efeito de pagamento de cana pelos açúcares totais recuperáveis (atr) nos estados do rio de janeiro, Espírito Santo e São Paulo. Sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. Rio Branco-Acre, 2008.
- Cunha, S. P. da, Filho, W. A. S.. avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *TECNO-LÓGICA*, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 2, p. 69-75, 2010.
- Durães, F. O. M.. Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica. Agroenergia em Revista. 3ª ed, Agosto 2011.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

- Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília - DF: Embrapa, 2006, 2a ed. 412p.
- Farias, C. H. de A., Fernandes, P. D., Gheyi, H. R., Neto, J. D.. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13, n.4, p.419–428, 2008.
- Forster-Carneiro, T., Berni, M.D., Dorileo, I.L., Rostagno, M.A.. Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, v.77, p. 78– 88, 2013.
- Giacomini, I., Siqueira, F. L. T. de, Pedroza, M. M., Mello, S. Q. S., Cerqueira, F. B., Salla, L. Uso Potencial de Sorgo Sacarino para a Produção de Etanol no estado do Tocantins. Avaliação e copidesque: outubro de 2013.
- IPA - Instituto Agrônômico de Pernambuco. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. Recife: IPA, 2008. 64p.
- Júnior, C. C., Marques, M. O., Júnior, L. C. T.. Efeito Residual de Quatro Aplicações Anuais de Lodo de Esgoto e Vinhaça na Qualidade Tecnológica da Cana-de-Açúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.1, p.196-203, jan./mar. 2008.
- Laopaiboon, L., Nuanpeng, S., Srinophakun, P., Klanrit, P., Laopaiboon, P.. Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplement. *Bioresource Technology*. v.100, p. 4176–4182, 2009.
- Leite, R. C., Cortez, L. A. B.. O Etanol Combustível no Brasil. p. 161-175. 2008.
- Lima, R. P., Rolim, M. M., Dantas, M. S. M., da Costa, A. R. F. C., Duarte, A. de S., Silva, A. R.. Atributos químicos de um Neossolo Regolítico distrófico em função das doses e tempos de aplicação de vinhaça. *Revista Agroambiente On-line*, v. 7, n. 3, p. 261-268, dezembro, 2013.
- May, A., Durães, F. O. M., Filho, I. A. P., Schaffert, R. E., Parrella, R. A. da C.. Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas - MG, 2012.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica. Brasília: MME. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>>. Acesso em: 02 jan. 2014.

- Resende, G. M.; Alvarenga, M. A. R.; Yuri, J. E.; Souza, R. J.; Mota, J. H.; de Carvalho, J. G. Rodrigues Júnior, J. C. Rendimento e teores de macronutrientes em alface tipo americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio em cultivo de verão. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p.153-163, 2009.
- Santos, F.A.; Queiróz, J.H.; Colodette, J.L.; Fernandes, S.A.; Guimarães, V.M.; Rezende, S.T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, São Paulo, v.35, n.5, p.1004-1010, 2012.
- 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*. v.15, n.5, p.443-449, 2011.
- Santos, F. A., Queiroz, J. H. de, Colodette, J. L., Manfredi, M., Queiroz, M. E. L. R., Caldas, C. S., Soares, F. E. F.. Otimização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando à produção de etanol celulósico. *Revista Química Nova*, vol. 37, no 1, p.56-62, 2014.
- Souza, Vander Fillipe de. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros - Janaúba, 53 p. 2011.
- Tasso Júnior, L. C., Marques, M. O., Franco, A., Nogueira, Gustavo de A., Nobile, F. O. de, Camilotti, F., Silva, A. R. da. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *Revista Engenharia Agrícola*, v.27, n.1, p.276-283, 2007.
- Thornthwaite, C. W.; Matter, J. R. The water ouudget and its use irrigation. In: Thornithwaite, C. W.; Matter, J. R. (Eds.) *Water the year book of agriculture*. Washington: USDA, 1995. p.356-358.
- Wight, J.P., Hons F.M., Storlien, J.O., Provin, T.L., Shahandeh, H., Wiedenfeld, R.P.. Management effects on bioenergy sorghum growth, yield and nutrient uptake. *Biomass and bioenergy*, v.46, p. 593-604, 2012.
- Whitfield, M. B., Chinn, M. S., Veal, M. W. Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. *Industrial Crops and Products*. v.37, p.362-375, 2012.