ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>

Aplicação de Resíduos da Indústria Sucroalcooleira em Solo como Forma de Mitigar Impactos Ambientais

Eduardo Henrique Lima de Lucena¹, Mário Monteiro Rolim², Emmanuel Damilano Dutra³, Rômulo Simões Cezar Menezes⁴, José Nildo Tabosa⁵, Anamaria de Sousa Duarte⁶, Moacyr Cunha Filho⁷, Ana Luiza Xavier Cunha⁸, Victor Casimiro Piscocya⁹, Raimundo Rodrigues Gomes Filho¹⁰, Milton Marques Fernandes¹¹, Alceu Pedrotti¹², Francisco Sandro Rodrigues Holanda¹³, Renisson Neponuceno de Araújo Filho¹⁴

¹Pós doutorando em Tecnologia Fitossanitária pela Universidade Estadual Norte Fluminense (UENF), CEP: 28.013-602, Goytacazes (RJ), Brasil, Tel.: (+5581) 98321-5258, eduardohenrique_120@hotmail.com (autor correspondente). ²Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), CEP: 52.051-360, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+5581) 3320-6279, mario.rolim@ufrpe.br. ³Professor do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), CEP: 50.740-540, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+5581) 2126-7979, emadutra86@hotmail.com. ⁴Professor do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), CEP: 50.740-540, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+55 81) 2126-8251, rmenezes@ufpe.br. ⁵Pesquisador do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), CEP: 50.761-000, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+5581) 3184-7200, tabosa@ipa.br. ⁶Professora do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), CEP: 58.015-430, João Pessoa (PB), Brasil, Tel.: (+5583) 99115-7975, anamaria.duarte@ifpb.edu.br. ⁷Professor do Departamento de Estatística e Informática da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), CEP: 52.051-360, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+5581) 3320-6490, moacyr2006@gmail.com. ⁸Mestre pelo Pós graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), CEP: 52.051-360, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+5581) 3320-6268, analuzaxcunha@gmail.com. ⁹Professor do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), CEP: 52.051-360, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+5581) 3320-6268, victorcasimiropiscocya@gmail.com. ¹⁰Professor do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe (UFS), CEP: 49.100-000, São Cristóvão (SE), Brasil, Tel.: (+5579) 3194-6991, rgomesfilho@hotmail.com. ¹¹Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Sergipe (UFS), CEP: 49.100-000, São Cristóvão (SE), Brasil, Tel.: (+5579) 3194-6980, miltonmf@gmail.com. ¹²Professor do Departamento de Engenharia Agrônoma da Universidade Federal de Sergipe (UFS), CEP: 49.100-000, São Cristóvão (SE), Brasil, Tel.: (+5579) 3194-6929, alceupedrotti@gmail.com. ¹³Professor do Departamento de Engenharia Agrônoma da Universidade Federal de Sergipe (UFS), CEP: 49.100-000, São Cristóvão (SE), Brasil, Tel.: (+5579) 3194-6508, fholland@infonet.com.br. ¹⁴Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins (UFT), CEP: 77.404-970, Gurupi (TO), Tel.: (+5563) 3311-1603, nepoaraujo@gmail.com.

Artigo recebido em 28/04/2020 e aceito em 19/04/2021

RESUMO

A adoção de práticas que minimize os impactos ambientais e melhoria da fertilidade do solo para exploração agrícola tem sido realizada com maior frequência. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do solo em áreas com diferentes doses de vinhaça e torta de filtro sobre os atributos químicos do solo. O experimento foi realizado na Estação Experimental do IPA, Vitória de Santo Antão - PE, 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. 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. Relacionado a vinhaça foi verificado efeito quadrático significativo ($p < 0,05$) proporcionando redução no teor de fósforo no solo, posteriormente, ocorrendo incremento de 8,88% com a dose máxima aplicada. Os resíduos aplicados torta de filtro e vinhaça promoveram melhoria nas propriedades químicas do solo potencializando seu uso na agricultura.

Palavras-chave: torta de filtro, vinhaça, atributos do solo, condicionadores, fertilidade.

Application of Waste from the Sugar Alcohol Industry in Soil as a Way to Mitigate Environmental Impacts

ABSTRACT

The adoption of practices that minimize environmental impacts and improve soil fertility for agricultural exploitation has been carried out with greater frequency. This work aimed to evaluate the soil quality in areas with different doses of vinasse and filter cake on the chemical attributes of the soil. The experiment was carried out at the IPA Experimental Station, Vitória de Santo Antão - PE, consisting of two treatments and five levels

Lucena, E., H., L., Rolim, M., M., Dutra, E., D. Menezes R., S., C. Tabosa J., N., Duarte, A., S., Filho, M., C., Cunha, A., L., X., Piscocya, V., C., Filho, R., R., G., Fernandes M., M., Pedrotti A., Holanda, F., S., R., Filho, R., N., A.

of application of vinasse doses 0; 19,42; 77,68; 155,36 and 310,72 m³ ha⁻¹) and five doses of filter cake (0; 2,75; 11,0; 22,0 and 44,0 t ha⁻¹), in randomized blocks with four replications. The data obtained were submitted to analysis of variance and regression, using the SAS software, with significance levels of 5% for the F test. Regarding the chemical attributes of the soil treated with filter cake, significant linear effects were verified ($p < 0.05$) for phosphorus, calcium and cation exchange capacity (CTC) in the soil. Related to vinasse, a significant quadratic effect ($p < 0.05$) was observed, providing a reduction in the phosphorus content in the soil, subsequently, with an increase of 8.88% with the maximum applied dose. The residues applied filter cake and vinasse promoted an improvement in the chemical properties of the soil, enhancing its use in agriculture. Keywords: filter cake, vinasse, soil attributes, conditioners, fertility.

Introdução

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 (Chen et al., 2016; Santos et al., 2017; Amorim et al., 2018).

Recentemente, tem se expandido, de forma relativamente rápida, uma maior exigência por energias renováveis, visto que a população mundial está cada vez consciente, ambientalmente falando, principalmente naqueles países mais desenvolvidos e nos de maior consumo de combustíveis automotivos (Al-Maamary et al., 2017; Pietrosevoli e Rodríguez-Monroy, 2019).

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 (Carneiro et al., 2017; Rodriguez et al., 2018).

Em termos de Brasil, as 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 vem se destacando como maior produtor seguido de Pernambuco (Noronha et al., 2017; Cordeiro et al., 2019).

O cultivo de culturas agroenergéticas, ou seja, culturas utilizadas para produção de energia é uma alternativa ao uso dos combustíveis derivados do petróleo (Torres-García et al., 2019; Staples et al., 2018). Os biocombustíveis, principalmente, o biodiesel e etanol, apresentam-se como uma das alternativas renováveis para substituição dos carburantes derivados de petróleo (Viner et al., 2019; Sunarno et al., 2019).

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 fermentescíveis, fato que contribui para a simplificação do processo na utilização desses

materiais, apresentando menor custo de produção e maior eficiência energética, quando comparadas a fontes amiláceas como milho, mandioca e batata-

doce (Harinikumar et al., 2017; Thawaro et al., 2017; Costa et al., 2018).

A expansão do mercado de etanol e açúcar leva o setor a projetar aumento na produção de culturas energéticas (Bennertz et al., 2018; Moncada et al., 2018). 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 (Bonassa et al., 2018; Cherubin et al., 2018).

O estabelecimento de metas altamente audaciosas para o aumento do consumo do etanol nos próximos anos, principalmente em países desenvolvidos, demanda um acréscimo substancial da produção de etanol, estimulando, com essa perspectiva, as pesquisas e o desenvolvimento no setor de matérias-primas inovadoras e com potencial para a produção de etanol, como exemplo, a biomassa lignocelulósica e a construção de novas unidades agroindústrias (Solomon et al., 2016; Pina et al., 2017; Oliveira et al., 2018).

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 (Phukoetphim et al., 2017; Dar et al., 2018). 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 e rendimento das mesmas e reduzindo custos de produção (Barcelos et al., 2016; Reis et al., 2016).

Além das vantagens citadas acima, os grãos e subprodutos também podem ser destinados para outros fins como produção de alimentos para animais (Cole et al., 2017; Cole et al., 2019). O descarte dos resíduos orgânicos nos mananciais

superficiais foi proibido, com isso o principal destino passou a ser o solo, e, com o passar do tempo, estudos viabilizaram o uso racional dos resíduos da vinhaça e torta de filtro na agricultura (Gebreyessus et al., 2019; Rusecki et al., 2019). Diversos estudos comprovaram efeitos benéficos na aplicação desses resíduos em áreas agrícolas contribuindo para o aumento na produtividade e manutenção da fertilidade do solo (Fuess et al., 2018; Dalsasso et al., 2019).

A crescente preocupação com o meio ambiente vem mobilizando vários segmentos do mercado (Prabakar et al., 2018; Nabi et al., 2019). Inúmeros órgãos governamentais e indústrias estão se preparando para aplicar políticas ambientais que mitiguem os impactos negativos à natureza (Di Gregorio et al., 2017; Schmidte Fleig et al., 2019). 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 (Bessi et al., 2016; Nasrullah et al., 2017).

Segundo Nair et al. (2016); Rodrigues e Hu et al. (2017), 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 positivos (Gopinath et al., 2018; Neves et al., 2020). Assim, a vinhaça e a torta de filtro passaram a fazer parte das adubações de plantio das zonas canavieiras brasileiras (Campiteli et al., 2018).

De acordo com Bhatnagar et al. (2016), 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 (Lima et al., 2017). 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 (Silva et al., 2019).

Observando os efeitos principais da vinhaça sobre os atributos químicos do solo, Melo et al. (2018), 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 (Fuess et al., 2017).

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 (Cabral Filho et al., 2019).

Segundo Arruda et al. (2019), 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 Borges et al. (2019), 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.

As alterações nas propriedades químicas do solo, decorrentes do fornecimento de condicionadores do solo se faz necessária para obtenção de maior produtividade com maior sustentabilidade ambiental (Moore et al., 2017). O entendimento dessas modificações, refletindo positivamente na diminuição dos impactos e maior produtividade nos cultivos, os atributos químicos do solo são indicadores chaves na importante avaliação na qualidade edáfica (Rueda-Ordóñez et al., 2019).

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 utilizados como fonte complementar de fertilizantes nos próprios canaviais, diminuindo os impactos ambientais e custos de aquisição de insumos agrícolas (Lucena

et al., 2018). Castro et al. (2017) afirmam que o Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de adubos e fertilizantes, porém 50% dos adubos utilizados no País são importados. Portanto, nesse sentido, resíduos orgânicos sólidos e líquidos necessitam serem utilizados como fertilizantes, já que estes possuem características consideráveis para a agricultura.

Embora a aplicação dos resíduos orgânicos no solo promova benefícios, seu uso indiscriminado tem gerado preocupações do ponto de vista ambiental, tais como, por exemplo, a contaminação de corpos hídricos e risco de salinização. Diante disso, a solução ecológica para destinação dos resíduos orgânicos por meio da fertirrigação em áreas de cultivo tem que ser controlada e qual a concentração ideal para que não ocorra outros impactos ambientais. Assim diante do contexto apresentado, este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade do solo em áreas com

diferentes doses de vinhaça e torta de filtro sobre os atributos químicos do solo.

Material e métodos

A área de estudo está localizada na Estação Experimental Luiz Jorge da Gama Wanderley da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA, em Vitória de Santo Antão, Zona da Mata de Pernambuco, com altitude de 160 m e coordenadas geográficas 08°08'00" de latitude e 35°22'00" de longitude. O clima da região é seco subúmido megatérmico (C₁S₂Aa), temperatura média anual de 18,9°C, precipitação média anual de 1.050 mm, evapotranspiração média de 1.100 mm e umidade relativa média do ar de 67% (Lucena et al., 2018). Os dados referentes à precipitação local durante o período experimental foram obtidos diariamente e contabilizados mensalmente durante o período de condução do experimento (Figura 1).

Figura 1. Precipitação total mensal na área experimental, no município de Vitória de Santo Antão - PE.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura média (Santos et al., 2018). Os

atributos físicos e químicos do solo foram caracterizados por meio da metodologia de Teixeira et al. (2017) (Tabela 1), antes da aplicação dos tratamentos.

Tabela 1. Caracterização dos atributos físicos e químicos do solo antes da aplicação dos resíduos agroindustriais.

Atributos	LATOSSOLO VERMELHO
Areia (g Kg ⁻¹)	596,5
Silte (g Kg ⁻¹)	113,5
Argila (g Kg ⁻¹)	290,0
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,88
Densidade de partícula (Kg dm ⁻³)	2,55
pH	5,30
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,33
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,07
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,50

Lucena, E., H., L., Rolim, M., M., Dutra, E., D. Menezes R., S., C. Tabosa J., N., Duarte, A., S., Filho, M., C., Cunha, A., L., X., Piscoya, V., C., Filho, R., R., G., Fernandes M., M., Pedrotti A., Holanda, F., S., R., Filho, R., N., A.

Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,20
P (MG dm ⁻³)	9,65
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,10
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,30
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	3,10
CTC (cmol _c dm ⁻³) ¹	6,40
V (%) ²	48,44
m (%) ³	1,56
M.O (g Kg ⁻¹) ⁴	18,01
C.O (g Kg ⁻¹) ⁵	10,45

Os resíduos orgânicos utilizados foram vinhaça e a torta de filtro provenientes da Usina JB, localizada no município de Vitória de Santo Antão, PE. As características químicas desses resíduos

consistiram em condutividade elétrica, pH, nitrogênio total, fósforo, potássio, sódio, cálcio, magnésio e matéria orgânica pela metodologia de Teixeira et al. (2017) (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Características químicas da vinhaça utilizada no experimento.

Parâmetros	Teor
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	2,76
pH	4,16
N (mg L ⁻¹)	168,00
P (mg L ⁻¹)	130,20
K ⁺ (mg L ⁻¹)	854,75
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	130,13
Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	118,20
Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	61,90
Matéria orgânica (mg L ⁻¹)	11,07

Tabela 3. Características físico-químicas da torta de filtro utilizada no experimento.

Parâmetros	Teor
Condutividade elétrica (dS.m ⁻¹)	3,64
pH	7,27
N (g Kg ⁻¹)	11,55
P (g Kg ⁻¹)	12,44
K ⁺ (g Kg ⁻¹)	10,20
Ca ²⁺ (g Kg ⁻¹)	23,21
Mg ²⁺ (g Kg ⁻¹)	1,98
S (g Kg ⁻¹)	5,67
Na ⁺ (g Kg ⁻¹)	3,00
Umidade (%)	54,24
Matéria orgânica (%)	70,98

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com distribuição com dois fatores independentes – resíduos: vinhaça e torta de filtro, cinco doses de vinhaça: 0; 19,42; 77,68; 155,36 e 310,72 m³ ha⁻¹ e torta de filtro: 0; 2,75; 11,0; 22,0 e 44,0 t ha⁻¹ e quatro repetições, totalizando quarenta unidades experimentais. 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 (Lucena et al., 2018) Para o cálculo das doses de torta de filtro foi considerado o teor de nitrogênio na mesma (Lucena et al., 2018). As doses foram definidas utilizando-se o método da elevação, levando-se em conta os fatores multiplicativos quatro, oito e dezesseis vezes a partir da dose ideal.

A área experimental possuía área total de 715,4 m², 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 (150000 plantas ha^{-1}),

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 irrigação utilizada no experimento foi por gotejamento, por meio de fita flexível 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 3).

Figura 3. Croqui do sistema de irrigação por meio de gotejamento.

A caracterização dos atributos químicos do solo, após aplicação dos resíduos, foi realizada de

acordo com a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017), determinando-se os seguintes parâmetros: teores de P, K^+ e Na^+ trocáveis obtidos

Lucena, E., H., L., Rolim, M., M., Dutra, E., D. Menezes R., S., C. Tabosa J., N., Duarte., A., S., Filho, M., C., Cunha, A., L., X., Piscoya, V., C., Filho, R., R., G., Fernandes M., M., Pedrotti A., Holanda, F., S., R., Filho., R., N., A.

através da solução extratora Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) e leitura realizada por colorimetria e fotometria de chamas, respectivamente; teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} trocáveis obtidos por meio da solução extratora de $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ com leitura feita por espectrometria de absorção atômica. O teor de alumínio trocável (Al^{+3}) foi obtido mediante a extração com solução $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ com determinação volumétrica utilizando solução diluída de $\text{NaOH } 0,025\text{N}$, enquanto a acidez potencial (H^+) foi obtida através da extração utilizando acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e titulação com $\text{NaOH } 0,05\text{N}$. O hidrogênio extraível (H^+) 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 (SB), a percentagem de saturação por bases trocáveis (V%) conforme a metodologia proposta pela Teixeira et al. (2017).

Os dados obtidos no estudo foram submetidos a análise de variância (ANOVA) foi realizada utilizando-se o software estatístico Statistical Analysis System (SAS) versão 2005, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro pelo teste F e os resultados submetidos à análise de regressão.

Resultados e discussão

Os atributos pH, magnésio, sódio, potássio, hidrogênio extraível, soma de bases (SB) e saturação por bases trocáveis (V%) o teste F não foi significativo (Tabela 4). Houve efeito isolado estatisticamente significativo ($p < 0,05$) pelo teste F para os seguintes atributos químicos no solo: cálcio, fósforo e CTC com as doses de torta de filtro aplicadas. A vinhaça aplicada houve efeito quadrático significativo para o teor de fósforo. Embora os resultados para a maioria dos atributos tenham dado resposta diferente do esperado, é necessário que se compreenda que os resíduos analisados foram fontes melhoradoras e condicionadoras da qualidade do solo, podendo ser adotadas como importantes medidas de estratégias de manejo para áreas da Zona da Mata do nordeste pernambucano.

Tabela 4. Valores médios obtidos dos atributos químicos do solo submetido a aplicação de vinhaça e torta de filtro.

FV	GL	Quadrados Médios									
		pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	P	K^+	H^+	CTC	SB	V%
Bl	3	0,022*	0,30 ^{ns}	0,10*	0,01 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,210 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,57 ^{ns}	56,59 ^{ns}
V	4	0,017 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,58*	0,025 ^{ns}	0,022 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}	88,56 ^{ns}
TF	4	0,018 ^{ns}	0,11*	0,25 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,45*	0,044 ^{ns}	0,049 ^{ns}	0,38*	0,10 ^{ns}	69,77 ^{ns}
VxTF	16	0,038 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,148 ^{ns}	0,110 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,13 ^{ns}	75,68 ^{ns}
CV%		5,09	20,03	17,91	15,30	16,12	13,82	20,95	10,21	12,31	9,16

FV - fatores de variação; GL - grau de liberdade; Bl - bloco; V - vinhaça; TF - torta de filtro; VxTF - vinhaça versus torta de filtro; CV% - coeficiente de variação; CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7; SB - soma de bases trocáveis e V% - saturação por bases; ^{ns}, Não significativo e *significativo a 5% pelo teste F.

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 4).

Figura 4. Teores de fósforo em função das doses de vinhaça aplicadas no solo.

As doses crescentes de vinhaça ocorreram 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. Comparados os teores iniciais 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 o ponto de mínima para a dose de vinhaça (PMV) (251,00 m³ ha⁻¹), detectando teor de fósforo no solo de (TFS) 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 Thuy et al. (2020), 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

(Araujo Filho et al., 2015). Segundo Lessa et al. (2016), 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 ensaios realizados, Bento et al. (2019) 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. Soltangheisi et al. (2019), 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. Vieira et al. (2019) utilizando a cultura do sorgo forrageiro adubado com resíduo tratado originário de feijão, observaram redução do teor de fósforo disponível no solo com a elevação das doses de manipueira, onde o menor teor de P (1,63 mg dm⁻³) foi encontrado na maior dose de manipueira (900 m³ ha⁻¹).

Com o aumento das doses de torta de filtro foi observado aumento nos teores de fósforo no solo (Figura 5). Ocorreu efeito positivo significativo ($p < 0,05$) pelo teste F, para os valores de fósforo do solo para a torta de filtro aplicada.

Figura 5. Teores de fósforo em função das doses de torta de filtro aplicadas no solo.

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 Caione et al. (2018), 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. Observou nesses dados efeito linear decorrente da inserção de doses crescentes de torta de filtro no solo, apresentando teor de P de 9,65 mg dm⁻³ (na ausência de torta de filtro) e 62,50 mg dm⁻³ de fósforo com a maior dose (44,0 t ha⁻¹), portanto, a aplicação de torta de filtro no solo foi responsável pelo acréscimo de 547% de fósforo no solo. Calheiros et al. (2018), 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 Aquino et al. (2018), 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 foram descritos por Mota et al. (2019), 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 Thuy et al. (2020), 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.

Sobre os efeitos das doses de torta de filtro no teor de cálcio, foi observado efeito linear crescente (Figura 6), ocorrendo diferença significativa ($p < 0,05$) através do teste F para os valores constatados no solo.

Figura 6. Teores de cálcio em função das doses de torta de filtro aplicadas no solo.

Quando comparado o teor de cálcio disponível do solo sem torta de filtro (1,64 cmolc dm⁻³) com o que recebeu a maior dose correspondente a 44 t ha⁻¹ (3,20 cmolc dm⁻³), pôde-se observar aumento de 95% do teor desse elemento no solo. Magela et al. (2019), aplicando doses crescentes de torta de filtro sobre o solo observou aumento significativo ($p < 0,05$) nos teores de cálcio do solo, onde esse aumento está relacionado a composição química da torta de filtro. 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 (Fedozzi et al., 2018).

De acordo com Carneiro et al. (2018), os teores de cálcio trocáveis no solo considerados adequados devem ser maiores que 0,4 cmolc dm⁻³, nesse sentido, pode afirmar que os teores de cálcio verificados foram adequados. Gazola et al. (2017), ao avaliarem 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. 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 Barros et al. (2017) 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.

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 7), 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.

Figura 7. Variação da CTC em função das doses de torta de filtro aplicadas no solo.

Castaldo et al. (2017), 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. Sousa et al. (2020) confirmaram 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 (Mesquita et al., 2020). Quanto maior essa superfície, maior será a sua CTC por aumentar a área de contato, melhorando a adsorção catiônica (Poggere et al., 2017). Tais resultados são importantes principalmente pelo fato da região em estudo apresentar solos arenosos, que geralmente têm baixa CTC e apresentam-se mais susceptíveis à perda de nutrientes por lixiviação. Bhatnagar et al., (2016), corroboram, informando que resíduos como a torta de filtro, produzidos em larga escala por agroindústrias sucroalcooleiras necessitam

Agradecimentos
Os autores agradecem a Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco, Laboratório de Saneamento Ambiental – LSA –

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.

Conclusões

Não ocorreram alterações nos atributos químicos do solo: pH, magnésio, sódio, potássio, hidrogênio extraível, soma de bases e saturação por bases trocáveis para as doses aplicadas dos resíduos agroindustriais. Teores de fósforo no solo com aplicação das doses máxima de vinhaça apresentaram melhor desenvolvimento. A aplicação de torta de filtro promoveu melhoria na fertilidade do solo, por aumentar os teores de fósforo, cálcio e elevar a CTC do solo. Diminuição dos impactos ambientais promovidos pelos resíduos orgânicos por meio da utilização em benefício da melhoria físico-químicas do solo

UFPE, Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos – UFRPE, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, e a usina JB.

Referências

Lucena, E., H., L., Rolim, M., M., Dutra, E., D. Menezes R., S., C. Tabosa J., N., Duarte, A., S., Filho, M., C., Cunha, A., L.X., Piscoya, V., C., Filho, R., R., G., Fernandes M., M., Pedrotti A., Holanda, F., S., R., Filho, R., N., A.

- Al-Maamary, H.M., Kazem, H.A., Chaichan, M.T., 2017. The impact of oil price fluctuations on common renewable energies in GCC countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75, 989-1007. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.079>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Amorim, W.S., Valduga, I.B., Ribeiro, J.M.P., Williamson, V.G., Krauser, G.E., Magtoto, M. K., Andrade, J.B.S.O., 2018. The nexus between water, energy, and food in the context of the global risks: An analysis of the interactions between food, water, and energy security. *Environmental Impact Assessment Review* 72, 1-11. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.002>. Acesso: 11 abr. 2020.
- Aquino, G.S., Santos, J.G.S., Diniz, T.G., Conti Medina, C., Rosseto, R., Moreira, A., 2018. Development of pre-sprouted seedlings (PSS) of sugarcane under different amounts of filter cake and application modes. *Semina: Ciências Agrárias* 39, 1899-1908. Disponível: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p1899>. Acesso: 11 abr. 2020.
- Araújo Filho, R.N., Holanda, F.S.R., Santana, I.D. M., Oliveira Santos, T., Primo, D.C., 2015. Efficiency of simple super phosphate in the vetiver grass development subjected to soil bioengineering. *Revista Caatinga* 28, 1-9.
- Barcelos, C.A., Maeda, R.N., Santa Anna, L.M. M., Pereira Junior, N., 2016. Sweet sorghum as a whole-crop feedstock for ethanol production. *Biomass and bioenergy* 94, 46-56. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.08.012>. Acesso: 11 abr. 2020.
- Barros, V.G., Duda, R.M., Silva Vantini, J., Omori, W.P., Ferro, M.I.T., Oliveira, R. A., 2017. Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of *Methanothermobacter* and *Methanosarcina* archaea and *Thermotogae* bacteria. *Bioresource technology* 244, 371-381. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.106>. Acesso: 11 abr. 2020.
- Bennertz, R., Rip, A., 2018. The evolving Brazilian automotive-energy infrastructure: Entanglements of national developmentalism, sugar and ethanol production, automobility and gasoline. *Energy research & social science* 41, 109-117. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.022>. Acesso: 11 abr. 2020.
- Bento, L.R., Castro, A.J.R., Moreira, A.B., Ferreira, O.P., Bisinoti, M.C., Melo, C.A., 2019. Release of nutrients and organic carbon in different soil types from hydrochar obtained using sugarcane bagasse and vinasse. *Geoderma* 334, 24-32. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.034>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Bessi, C., Lombardi, L., Meoni, R., Canovai, A., Corti, A., 2016. Solid recovered fuel: An experiment on classification and potential applications. *Waste management* 47, 184-194. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.012>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Bhatnagar, A., Kesari, K.K., Shurpali, N., 2016. Multidisciplinary approaches to handling wastes in sugar industries. *Water, Air, & Soil Pollution* 227, 11. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2705-y>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Bonassa, G., Schneider, L.T., Canevar, V.B., Cremonez, P.A., Frigo, E.P., Dieter, J., Teleken, J.G., 2018. Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 2365-2378. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.075>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Cabral Filho, F.R., Silva Vieira, G., Silva, N.F., Cunha, E. S., Santos, L.N.S., Rodrigues, C.R., Soares, F.A.L., 2019. Sugarcane vinasse cations dynamics in Cerrado soils, Brazil. *Sugar Tech* 21, 38-46. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0620-4>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Caione, G., Castellanos González, L., Mello Prado, R., Reyes Hernández, A., Rosatto Moda, L., Parets Selva, E., Nahas, E., 2018. Adubação fosfatada com torta de filtro, fosfato natural e biofertilizantes em ultisol. *Ciencia del suelo* 36, 110-116.
- Calheiros, L.C., Freire, F.J., Moura Filho, G., Oliveira, E.C., Moura, A.B., Costa, J.V., Rezende, J.S., 2018. Assessment of nutrient balance in sugarcane using DRIS and CND methods. *Journal of Agricultural Science* 10, 164-179. Disponível: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p164>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Campitelli, L.L., Santos, R.M., Lazarovits, G., Rigobelo, E.C., 2018. The impact of applications of sugar cane filter cake and

- vinasse on soil fertility factors in fields having four different crop rotations practices in Brazil. *Científica* 46, 42-48. Disponível: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2018v46n1p42-48>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Carneiro, J.S., Sousa, S.A., Nikkel, M., Deusará, T.T., Machado, Â. F., Silva, R.R., 2018. Supercalagem: alterações em atributos químicos de um Latossolo Vermelho amarelo distrófico. *Revista de Ciências Agroambientais* 16, 31-38. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5327/Z1677606220181522>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Carneiro, M.L.N., Pradelle, F., Braga, S.L., Gomes, M.S.P., Martins, A.R.F., Turkovics, F., Pradelle, R.N., 2017. Potential of biofuels from algae: Comparison with fossil fuels, ethanol and biodiesel in Europe and Brazil through life cycle assessment (LCA). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73, 632-653. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.152>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Castaldo, J.H., Nolla, A., Tinos, A.C., Silva Damy, C.R., Sorace, M., Martins, A.P.C., 2017. Fertilization recommendation with filter cake to weath cultivated on sandy Ultisol. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 60, 166-172. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2487>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Castro, S.G.Q., Decaro, S.T., Franco, H.C.J., Magalhães, P.S.G., Garside, A., Mutton, M.A., 2017. Best practices of nitrogen fertilization management for sugarcane under green cane trash blanket in Brazil. *Sugar Tech* 19, 51-56. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0443-0>. Acesso: 12 abr. 2020.
- Chen, J., Shi, H., Sivakumar, B., Peart, M.R., 2016. Population, water, food, energy and dams. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56, 18-28. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.043>. Acesso: 9 abr. 2020.
- Cherubin, M.R., Oliveira, D.M.D.S., Feigl, B.J., Pimentel, L.G., Lisboa, I.P., Gmach, M. R., Paiva, S.R.D., 2018. Crop residue harvest for bioenergy production and its implications on soil functioning and plant growth: A review. *Scientia Agricola* 75, 255-272. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0459>. Acesso: 9 abr. 2020.
- Cole, M.R., Eggleston, G., Gaines, D.K., Heckemeyer, M., 2019. Development of an enzyme cocktail to bioconvert untapped starch in sweet sorghum processing by-products: Part I. *Industrial crops and products* 133, 142-150. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.012>. Acesso: 9 abr. 2020.
- Cole, M.R., Eggleston, G., Petrie, E., Uchimiya, S. M., Dalley, C., 2017. Cultivar and maturity effects on the quality attributes and ethanol potential of sweet sorghum. *Biomass and Bioenergy* 96, 183-192. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.12.001>. Acesso: 9 abr. 2020.
- Cordeiro, N.K., Souza, D.H.G., Bernardi, D., Cardoso, K.P.S., Lazaretti, N.S., Abraão, P. C., Júnior, E.K.M., 2019. Analysis of Regression and Correlation on Production of Sugarcane in the States of Paraná, São Paulo and Minas Gerais, Brazil. *Journal of Experimental Agriculture International* 29, 1-8. Disponível: <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v36i530246>. Acesso: 8 mar. 2020.
- Costa, G.H.G., Ciaramello, S., Giachini, J.W., Gazzola, W.C.B., Giachini, L. E., Uribe, R.A. M., 2018. Effects of Sweet Sorghum Harvest Systems on Raw Material Quality. *Sugar Tech* 20, 730-733. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0615-1>. Acesso: 8 mar. 2020.
- Dalsasso, R.R., Pavan, F.A., Bordignon, S.E., Aragão, G.M.F., Poletto, P., 2019. Polyhydroxybutyrate (PHB) production by *Cupriavidus necator* from sugarcane vinasse and molasses as mixed substrate. *Process Biochemistry* 85, 12-18. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.07.007>. Acesso: 8 mar. 2020.
- Dar, R.A., Dar, E.A., Kaur, A., Phutela, U.G., 2018. Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 4070-4090. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.066>. Acesso: 8 mar. 2020.
- Di Gregorio, M., Nurrochmat, D.R., Paavola, J., Sari, I.M., Fatorelli, L., Pramova, E., Kusumadewi, S.D., 2017. Climate policy integration in the land use sector: Mitigation, adaptation and sustainable development linkages. *Environmental Science & Policy*, 67, 35-43. Disponível:

- <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.004>. Acesso: 8 mar. 2020.
- Fedozzi, C., Silva, C.F.G., Santos, J.V.A., Prado, M.Q., Coelho, A., Pontes, W., Gandolfi, M. V. C., 2018. Influência do hidróxido de cálcio na turbidez do caldo de cana-de-açúcar. *Revista Engenharia em Ação UniToledo* 3, 94-104.
- Fuess, L.T., Garcia, M.L., Zaiat, M., 2018. Seasonal characterization of sugarcane vinasse: Assessing environmental impacts from fertirrigation and the bioenergy recovery potential through biodigestion. *Science of the Total Environment*, 634, 29-40. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.326>. Acesso: 13 mar. 2020.
- Fuess, L.T., Rodrigues, I.J., Garcia, M.L., 2017. Fertirrigation with sugarcane vinasse: foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization. *Journal of Environmental Science and Health* 52, 1063-1072. Disponível: <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1338892>. Acesso: 13 mar. 2020.
- Gazola, T., Cipola Filho, M.L., Júnior, N.C.F., 2017. Avaliação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar provenientes de substratos submetidos a adubação química e orgânica. *Científica* 45, 300-306. Disponível: <http://dx.doi.org/10.15361/19845529.2017v45n3p300-306>. Acesso: 13 mar. 2020.
- Gebreeyessus, G. D., Mekonen, A., Alemayehu, E., 2019. A review on progresses and performances in distillery stillage management. *Journal of Cleaner Production*. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.383>. Acesso: 13 mar. 2020.
- Gopinath, A., Bahurudeen, A., Appari, S., Nanthagopalan, P., 2018. A circular framework for the valorisation of sugar industry wastes: Review on the industrial symbiosis between sugar, construction and energy industries. *Journal of Cleaner Production*, 203, 89-108. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.252>. Acesso: 13 mar. 2020.
- Harinikumar, K.M., Kudahettige-Nilsson, R., Devadas, A., Holmgren, M., Sellstedt, A., 2017. Bioethanol production from four abundant Indian agricultural wastes. *Biofuels* 1, 1-7. Disponível: <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1387744>. Acesso: 13 mar. 2020.
- Lessa, J.H.L., Araujo, A.M., Silva, G.N.T., Guilherme, L.R.G., Lopes, G., 2016. Adsorption-desorption reactions of selenium (VI) in tropical cultivated and uncultivated soils under Cerrado biome. *Chemosphere*, 164, 271-277. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.106>. Acesso: 13 mar. 2020.
- Lima, A.V., Barbosa, M.A., Cunha, L.C.S., Morais, S.A., Aquino, F.J., Chang, R., Nascimento, E.A., 2017. Volatile compounds obtained by the hydrodistillation of sugarcane vinasse, a residue from ethanol production. *Revista Virtual de Química* 9, 764-773.
- Lucena, E. H. L., Dutra, E. D., Pedrosa, E. M. R., Menezes, R. S. C., Tabosa, J. N., de Carvalho, A. L., Rolim, M.M., Araujo Filho, R.N., Piscoya, V. C. (2018). Ethanol Production Potential from Sweet Sorghum Fertilized with Filter Cake and Vinasse from the Sugarcane Industry. *Journal of Experimental Agriculture International* 24, 1-13. Disponível: <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/42574>. Acesso: 13 mar. 2020.
- Magela, M.L.M., Camargo, R., Lana, R.M.Q., Carvalho Miranda, M.C., 2019. Application of organomineral fertilizers sourced from filter cake and sewage sludge can affect nutrients and heavy metals in soil during early development of maize. *Australian Journal of Crop Science* 13, 863-873.
- Melo, T.R., Ferreira, R.R.M., Navroski, D., Feltran, C.T.M., Tavares Filho, J., 2018. Physico-chemical attributes of a Cambisol under pasture managed with annual burns after sugarcane vinasse application. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 7, 75-81. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0193-y>. Acesso: 20 mar. 2020.
- Mesquita, F.O., Cavalcante, L.F., Mesquita Alves, J., Júnior, S.D.O.M., Oliveira Sousa, V.F., Martins, E.L., Sousa Medeiros, S., 2020. Attenuating use of biofertilizers and saline waters in jackfruit seedlings biomass. *Brazilian Journal of Development* 6, 11621-11638. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-140>. Acesso: 20 mar. 2020.
- Moncada, J.A., Verstegen, J.A., Posada, J.A., Junginger, M., Lukszo, Z., Faaij, A., Weijnen, M., 2018. Exploring policy options to spur the expansion of ethanol production and consumption in Brazil: An agent-based modeling approach. *Energy policy* 123, 619-641. Disponível:

- <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.015>. Acesso: 20 mar. 2020.
- Moore, C.C.S., Nogueira, A.R., Kulay, L., 2017. Environmental and energy assessment of the substitution of chemical fertilizers for industrial wastes of ethanol production in sugarcane cultivation in Brazil. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 22, 628-643. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1074-0>. Acesso: 20 mar. 2020.
- Mota, R.P., Camargo, R., Lemes, E.M., Lana, R. M.Q., Almeida, R.F., Moraes, E.R., 2019. Biosolid and sugarcane filter cake in the composition of organomineral fertilizer on soybean responses. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 8, 131-137. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0237-3>. Acesso: 20 mar. 2020.
- Nabi, M., Zhang, G., Zhang, P., Tao, X., Wang, S., Ye, J., Wu, Y., 2019. Contribution of solid and liquid fractions of sewage sludge pretreated by high pressure homogenization to biogas production. *Bioresource technology*, 286, 121378. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121378>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Nair, R.B., Taherzadeh, M.J., 2016. Valorization of sugar-to-ethanol process waste vinasse: a novel biorefinery approach using edible ascomycetes filamentous fungi. *Bioresource technology* 221, 469-476. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.074>. Acesso: 20 mar. 2020.
- Nasrullah, M., Hurme, M., Oinas, P., Hannula, J., Vainikka, P., 2017. Influence of input waste feedstock on solid recovered fuel production in a mechanical treatment plant. *Fuel Processing Technology* 163, 35-44. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.03.034>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Neves, A., Godina, R., Azevedo, S.G., Matias, J.C., 2020. A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production* 247, 119113. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Noronha, M.D.A., Muniz, M.D.F.S., Cruz, M.D. M., Assunção, M.C., Castro, J.M.D.C., Oliveira, E.R.L.D., Machado, A.C.Z., 2017. Meloidogyne and Pratylenchus species in sugarcane fields in the state of Alagoas, Brazil. *Ciência Rural* 47, e20151402. Disponível: <https://doi.org/10.1590/01038478cr20151402>. Acesso: 20 mar. 2020.
- Oliveira, R.B., Carvalho, J.L.N., Lal, R., Figueiredo, E.B., Oliveira, B.G., La Scala, N., 2018. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agronomy for sustainable development* 38, 13. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Phukoetphim, N., Salakkam, A., Laopaiboon, P., Laopaiboon, L., 2017. Improvement of ethanol production from sweet sorghum juice under batch and fed-batch fermentations: Effects of sugar levels, nitrogen supplementation, and feeding regimes. *Electronic Journal of Biotechnology* 26, 84-92. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.01.005>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Pietrosemoli, L., Rodríguez-Monroy, C., 2019. The Venezuelan energy crisis: Renewable energies in the transition towards sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 105, 415-426. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.014>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Pina, E.A., Palacios-Bereche, R., Chavez-Rodriguez, M.F., Ensinas, A.V., Modesto, M., Nebra, S. A., 2017. Reduction of process steam demand and water-usage through heat integration in sugar and ethanol production from sugarcane—Evaluation of different plant configurations. *Energy* 138, 1263-1280. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.054>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Poggere, G.C., Melo, V.D.F., Francelino, M.R., Simas, F.N.B., Schaefer, C.E.G.R., 2017. Adsorção de arsenato (HASO42-) pela fração argila de solos das Penínsulas Keller e Barton, ilha Rei George, Antártica Marítima. *Revista Ciência Agronômica* 48, 13-21. Disponível: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170002>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Prabakar, D., Manimudi, V.T., Mathimani, T., Kumar, G., Rene, E.R., Pugazhendhi, A., 2018. Pretreatment technologies for industrial effluents: critical review on bioenergy production and environmental concerns. *Journal of environmental management*, 218, 165-180. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.136>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Reis, A.L.S., Damilano, E.D., Menezes, R.S.C., Morais Junior, M.A., 2016. Second-generation ethanol from sugarcane and sweet sorghum

- bagasses using the yeast *Dekkera bruxellensis*. *Industrial Crops and Products*, 92, 255-262. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.007>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Rodrigues, C.E.R., Hu, B., 2017. Vinasse from sugarcane ethanol production: better treatment or better utilization?. *Frontiers in Energy Research* 5, 7. Disponível: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2017.00007>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Rodriguez, R.D.G., Scanlon, B.R., King, C.W., Scarpore, F.V., Xavier, A.C., Pruski, F.F., 2018. Biofuel-water-land nexus in the last agricultural frontier region of the Brazilian Cerrado. *Applied Energy* 231, 1330-1345. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.121>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Rueda-Ordóñez, D.A., Leal, M.R.L., Bonomi, A., Cortez, L.A.B., Cavalett, O., Rincón, J.M., 2019. Simulating scenarios for compost and vinasse use to improve the economics and environmental aspects of representative Colombian sugarcane production systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 1-15. Disponível: <https://doi.org/10.1017/S1742170519000188>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Rusecki, H., Skowrońska, M., Chojnacka, S., Kraska, P., Andruszczak, S., Mocek-Plócinia, A., 2019. Fertilizing Potential of Rye Stillage in A Maize Agroecosystem. *Agronomy* 9, 688. Disponível: <https://doi.org/10.3390/agronomy9110688>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumberras, J.F., Coelho, M.R., Cunha, T. J. F., 2018. Sistema Brasileiro de Classificação do Solo. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos.
- Santos, S., Adams, E. A., Neville, G., Wada, Y., Sherbinin, A., Bernhardt, E. M., Adamo, S. B., 2017. Urban growth and water access in sub-Saharan Africa: Progress, challenges, and emerging research directions. *Science of the Total Environment* 607, 497-508. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.157>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Schmidt, N. M., Fleig, A., 2018. Global patterns of national climate policies: Analyzing 171 country portfolios on climate policy integration. *Environmental Science & Policy*, 84, 177-185. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.003>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Silva, G.A., Ferreira, S.L., Souza, G.R., Silva, J. A., Pagliuso, J.D., 2019. Utilization of a new approach for the potassium concentration of sugarcane vinasse by reverse osmosis: case study. *International Journal of Environmental Science and Technology* 16, 6441-6446. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02209-6>. Acesso: 18 mar. 2020.
- Solomon, S., 2016. Sugarcane production and development of sugar industry in India. *Sugar Tech* 18, 588-602. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0494-2>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Soltangheisi, A., Santos, V.R.D., Franco, H.C.J., Kolln, O., Vitti, A.C., Dias, C.T.D.S., Pavinato, P.S., 2019. Phosphate sources and filter cake amendment affecting sugarcane yield and soil phosphorus fractions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43. Disponível: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180227>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Sousa, A.B.A., Bezerra, F.T.C., Cavalcante, L.F., Bezerra, M.A.F., Pereira, W., Oliveira, I.C., 2020. Effect of population and organomineral fertilization on physico-chemical quality of fruits of *Passiflora edulis* cv. Guinezinho. *Australian Journal Crop Science* 14, 308-318. Disponível: <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.02.p2318>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Staples, M.D., Malina, R., Suresh, P., Hileman, J. I., Barrett, S.R., 2018. Aviation CO₂ emissions reductions from the use of alternative jet fuels. *Energy Policy* 114, 342-354. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.007>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Sunarno, J.N., Prasertsan, P., Duangsuwan, W., Cheirsilp, B., Sangkharak, K., 2019. Biodiesel derived crude glycerol and tuna condensate as an alternative low-cost fermentation medium for ethanol production by *Enterobacter aerogenes*. *Industrial Crops and Products* 138, 111451. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.014>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G. Manual de métodos de análise do solo. 3.ed. rev. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573p.
- Thawaro, N., Toomsan, B., Kaewpradit, W., 2017. Sweet sorghum and upland rice: alternative preceding crops to ameliorate ethanol production and soil sustainability within the

- sugarcane cropping system. Sugar Tech 19, 64-71. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0437-y>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Thuy, P.T.P., Hoa, N.M., Dick, W.A., 2020. Reducing Phosphorus Fertilizer Input in High Phosphorus Soils for Sustainable Agriculture in the Mekong Delta, Vietnam. Agriculture 10, 87. Disponível: <https://doi.org/10.3390/agriculture10030087>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Torres-García, M., García-Martín, J.F., Aguilar, F. J.J.E., Barbin, D.F., Álvarez-Mateos, P., 2019. Vegetable oils as renewable fuels for power plants based on low and medium speed diesel engines. Journal of the Energy Institute 93, 953-961. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.08.006>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Vieira, P.V.D., Freitas, P.S.L, Rezende, R., Dallacort, R., Barbieri, J.D., Daniel, D.F. 2019. Calibration and Simulation of the CERES-Sorghum and CERES-Maize Models for Crops in the Central-West Region of Paraná State. Journal of Agricultural Science 11, 140-154. Disponível: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n18p140>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Viner, K.J., Roy, H.M., Lee, R., He, O., Champagne, P., Jessop, P.G., 2019. Transesterification of soybean oil using a switchable-hydrophilicity solvent, 2-(dibutylamino) ethanol. Green Chemistry 21, 4786-4791.