

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE VINHAÇA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS E QUÍMICAS DE AMOSTRAS DE ARGISSOLO

Anderson Soares Bento¹, Thais de Oliveira Jácono Ramari², Cleiltan Novais da Silva³, Edison Schmdit Filho⁴, Francielli Gasparotto⁵

¹Engenheiro Agrônomo/Centro Universitário Cesumar – Unicesumar, campus Maringá – PR, Brasil.

²Prof^a. Ms. do Departamento de Agronomia/ Centro Universitário Cesumar – Unicesumar, campus Maringá – PR, Brasil.

³ Pós-doutoranda do programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas do Centro Universitário de Maringá, Unicesumar – Maringá.

⁴Prof. Dr. do Programa de Mestrado em Tecnologias Limpas e do Departamento de Agronomia/ Centro Universitário Cesumar – Unicesumar, campus Maringá – PR, Brasil. Pesquisador do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI).

⁵Prof^a Dr^a do Programa de Mestrado em Tecnologias Limpas e do Departamento de Agronomia/ Centro Universitário Cesumar – Unicesumar, campus Maringá – PR, Brasil. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI) - (francielli.gasparotto@unicesumar.edu.br)

Recebido em: 08/04/2017 – Aprovado em: 10/06/2017 – Publicado em: 20/06/2017
DOI: 10.18677/EnciBio 2017A64

RESUMO

O cultivo da cana de açúcar no Brasil vem se destacando em função do apelo ambiental de um de seus produtos, o etanol. Porém, durante o processo produtivo é gerado grande quantidade de vinhaça que possui alto potencial de contaminação. Atualmente a vinhaça vem sendo utilizada na agricultura principalmente via fertirrigação e assim tornam-se necessários estudos que descrevam as interações entre suas características e as características químicas e biológicas do solo. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a influência de diferentes doses de vinhaça de cana de açúcar nas características químicas e biológicas de amostras incubadas de solo que nunca havia recebido fertirrigação com vinhaça e solo que recebeu aplicação de vinhaça por quinze anos. As amostras coletadas foram incubadas em laboratório por um período de 120 dias com lâminas de vinhaça proporcionais a doses de 0, 100, 200 e 300 m³.ha⁻¹. Após o período de incubação realizou-se a contagem da população microbiana e a análise química das amostras de solo em cada tratamento. O delineamento experimental utilizado foi o DIC e o número de fungos e bactérias foi determinado por meio da contagem de unidades formadoras de colônias por grama de solo. Observou-se que a aplicação da vinhaça influenciou positivamente na microbiota do solo, na maioria dos tratamentos, com destaque para as doses de 200 e 300 m³.ha⁻¹. Ocorreu um incremento nos teores de fósforo e potássio na solução do solo, porém houve uma diminuição na concentração de cálcio e magnésio do meio, após a aplicação do resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: microrganismos, nutrientes, resíduo.

INFLUENCE OF APPLICATION OF VINASSE ON THE BIOLOGICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS ARGISOL SAMPLES

ABSTRACT

The cultivation of sugar cane in Brazil has been increasing due to the environmental appeal of one of its products, ethanol. However, during its production process is generated lot of vinasse that due to its characteristics, has a high potential for environmental contamination. Currently, vinasse has been used in agriculture mainly through fertigation and thus become necessary studies describing the interactions between the waste characteristics and chemical and biological characteristics of the soil. The aims of this study were to evaluate the influence of different doses of sugar cane vinasse in the chemical and biological characteristics of incubated samples of red-yellow dystrophic Ultisol, soil that had never received fertigation with vinasse and soil with application of vinasse for fifteen years. Samples were collected from both soils and incubated in the laboratory over a period of 120 days with vinasse slides proportional to the doses of 0, 100, 200 and 300 m³.ha⁻¹. After the incubation period was held on the microbial population counts and chemical analysis of soil samples for each treatment. The experimental design was completely randomized and the number of fungi and bacteria was determined by colony forming units count per gram of soil. It was observed that the application of vinasse positively influenced the microflora of the soil, in most treatments, especially the doses of 200 and 300 m³.ha⁻¹. An increase in phosphorus and potassium in the soil solution, but there was a decrease in the concentration of calcium and magnesium through, after application of the residue.

KEYWORDS: microorganisms, nutrients, residue.

INTRODUÇÃO

O cultivo da cana de açúcar no Brasil vem tomando destaque a cada ano, pois um de seus produtos atende a um apelo ambiental bastante atual, o biocombustível. O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar e estima-se que para a safra de 2016-2017 ocorra um aumento na produção de aproximadamente 4,4% em relação à safra anterior (CONAB, 2016).

Durante o processo de beneficiamento da cana de açúcar é produzido grande quantidade de resíduos e um dos principais é a vinhaça (vinhoto ou restilo). Estima-se que para cada litro produzido de etanol são produzidos de dez a quinze litros de vinhaça (OLIVEIRA et al., 2013; SILVA et al., 2013a). Este subproduto é um resíduo com alto potencial de contaminação ambiental, sendo um líquido de coloração marrom-escuro com forte odor, baixo pH, alto teor de potássio, elevado conteúdo orgânico e com alta demanda química de oxigênio (ESPAÑA-GAMBOA et al., 2011; FUESS & GARCIA, 2013).

Estudos vêm sendo realizados no sentido de reaproveitar os resíduos das cadeias produtivas para tornar o sistema menos poluente ao meio ambiente. Para a vinhaça existem diversas alternativas de utilização (CHRISTOFOLETTI et al., 2013), como a aplicação do vinhoto concentrado na linha de plantio e a fertirrigação deste produto não concentrado. A primeira, tem a vantagem da facilidade no transporte e, de acordo com SILVA et al. (2013a), tem a capacidade de liberar lentamente o nitrogênio para as plantas pois no processo de concentração, ocorre a imobilização deste nutriente. Já a fertirrigação da vinhaça na cultura da cana de açúcar é uma prática consolidada (GASPAROTTO et al., 2014), e recentemente estudada para outras culturas como, por exemplo, a linhaça, feijão (VIEIRA et al., 2012;

AGOSTINHO et al., 2014) e ainda no desenvolvimento de pastagens (SILVA et al., 2013b; OLIVEIRA et al., 2015). Esta prática mitiga os impactos ambientais causados pela vinhaça e atua como adubo para as culturas em campo, porém o custo para o transporte deste resíduo vem inviabilizando economicamente o uso em áreas distantes das usinas (SILVA et al., 2013a).

Diversos autores ressaltam que o uso da vinhaça em áreas agrícolas traz benefícios para o solo, pois contém na sua constituição um alto teor de matéria orgânica e outros nutrientes necessários às plantas. O uso racional proporciona a redução dos custos com adubação e reduz o impacto ambiental (SILVA et al., 2007; GIACHINI & FERRAZ, 2009; BARROS, 2012).

Porém, sua substituição ao adubo mineral em culturas agrícolas depende da composição química da vinhaça a ser utilizada, das exigências da cultura e do tipo de solo em que a aplicação será feita. Aplicações sem critérios técnicos resultam na lixiviação dos sais presentes no resíduo (RIBEIRO et al., 2014), contaminação de lençóis freáticos, salinização do solo, entre outros impactos (FUESS & GARCIA, 2014).

O efeito do uso da vinhaça no solo sobre a população microbiana pode ser positivo ou negativo e ainda atuar nos processos mediados por estes organismos, conforme o critério adotado para aplicação. Segundo YANG et al., (2013) a vinhaça utilizada na fertirrigação da cultura da cana de açúcar, em quantidade dimensionada, pode proporcionar um ganho na composição biológica do solo em função do aumento da matéria orgânica fornecida pelo resíduo. Assim, os microrganismos podem atuar como bioindicadores potenciais para a avaliação da qualidade de solos irrigados com vinhaça por serem sensíveis às mudanças no ambiente (MARTINS & CAMPOS, 2011).

Sendo assim, torna-se necessário o estudo da dinâmica da vinhaça no ambiente e sua influência nas propriedades químicas e biológicas do solo. Desta forma, objetivou-se com este trabalho comparar a influência de diferentes doses de vinhaça de cana de açúcar nas características químicas e biológicas de amostras incubadas de Argissolo vermelho-amarelo distrófico, em que uma amostra de solo nunca recebeu fertirrigação com vinhaça e outra recebeu aplicação de vinhaça por quinze anos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento consistiu na análise química e biológica de amostras de solo incubadas com diferentes doses de vinhaça e foi conduzido no laboratório de Microbiologia da Unicesumar, localizada no município de Maringá-PR. A vinhaça utilizada no experimento foi coletada em uma das usinas da região da cidade de Maringá no Estado do Paraná diretamente dos tanques de armazenamento. A composição química da vinhaça está apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 - Características químicas da vinhaça.

Vinhaça	Macronutrientes								
	C	MO	N total	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	C/N	pH
a	-----mg.L ⁻¹ -----								
	5.454,4	9.927,0	224	731,14	468,16	798,34	473,37	24:01	3,77

Fonte: Laboratório de análises químicas da Universidade Estadual de Maringá (2014).

Os solos utilizados no experimento foram coletados na profundidade de 0-20 cm, em duas propriedades agrícolas, localizadas no município de São Tomé - PR, e foram classificados como Argissolo vermelho-amarelo distrófico. O clima da região, segundo classificação de Köppen é Cfa, subtropical úmido, com verões quentes e invernos com geadas pouco frequentes (ALVARES et al., 2014). Em ambas as propriedades cultivam-se cana de açúcar, porém o manejo da cultura é diferenciado, uma delas nunca recebeu aplicação de vinhaça no solo via fertirrigação (SSV – solo sem vinhaça) e a outra vem recebendo a aplicação do produto por quinze anos (SCV – solo com vinhaça).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com oito tratamentos e quatro repetições. Comparando-se um solo agricultável que nunca havia recebido a aplicação de vinhaça (SSV) e outro solo que recebeu a aplicação de vinhaça de maneira regular por 15 anos (SCV). Os tratamentos constituíram de aplicações de diferentes doses de vinhaça em ambos os solos. Sendo testadas as seguintes doses: 0 (zero) para as testemunhas (SSV0 e SCV0), 100 m³.ha⁻¹ (SSV1 e SCV1), 200 m³.ha⁻¹ (SSV2 e SCV2) e 300 m³. ha⁻¹ (SSV3 e SCV3)

Cada unidade experimental foi composta por 1 Kg de solo acondicionado em recipientes plásticos. A vinhaça foi aplicada na superfície do solo de cada tratamento até alcançar as lâminas proporcionais às doses descritas acima e, após a aplicação as unidades experimentais foram incubadas no escuro em temperatura ambiente durante 120 dias.

Para avaliar o efeito do aumento das doses aplicadas de vinhaça na população microbiana do solo foi realizada uma amostragem aos 120 dias de incubação retirando-se uma alíquota de 10 gramas de solo de cada unidade experimental. O número de fungos e bactérias foi determinado por meio da contagem de unidades formadoras de colônias (UFC), utilizando-se o método de diluição em série e inoculação em meio de cultura BDA (Batata dextrose ágar). As colônias fúngicas foram identificadas com auxílio do microscópio óptico. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste de Scott - Knott a 5% de significância utilizando-se o software estatístico SASM – Agri (CANTERI et al., 2001).

Ao final do período experimental foi realizada uma análise química das amostras estudadas a fim de avaliar a influência da vinhaça nos teores de nutrientes do solo e as possíveis consequências. Para análise desses resultados foram realizadas correlações entre as doses de vinhaça e as características químicas avaliadas nas amostras de solo em cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação da população de fungos e bactérias do solo (UFC.g⁻¹), após 120 dias de incubação, verificou-se que a adição de vinhaça nas amostras proporcionou variações positivas na população dos microrganismos avaliados em comparação com a testemunha (Tabela 2).

TABELA 2 - População de fungos e bactérias em amostras de solos que não foram fertirrigadas com vinhaça previamente (SSV) e solos que receberam aplicações de vinhaça por 15 anos (SCV).

	Doses de Vinhaça (m³.ha⁻¹)			
	0	100	200	300
	-----Fungos (UFC.g ⁻¹ de solo)-----			
SSV	4,69 b ¹	7,19 b	8,75 a	10,63 a
SCV	6,88 b	10 b	5,31 b	18,75 a
	-----Bactérias (UFC.g ⁻¹ de solo)-----			
SSV	276,50 b	229,45 b	366,30 a	286,75 b
SCV	289,75 b	404,25 a	483,75 a	408,70 a

Fonte: Autores (2015)

¹Médias seguidas de letras diferentes nas linhas diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

O número de unidades formadoras de colônias fúngicas nas amostras de solo que nunca havia recebido vinhaça em campo (SSV) aumentou gradativamente de acordo com o aumento das doses de vinhaça, sendo que a diferença entre os tratamentos SSV tornou-se significativa a partir da dose de 200 m³.ha⁻¹. Quanto à população de bactérias, não houve diferença estatística entre os tratamentos SSV0, SSV1 e SSV3, com exceção para o SSV2 onde a população foi de 366,30 UFC.g⁻¹ de solo, diferenciando-se significativamente dos demais. É importante salientar que na menor dose testada (SSV1) ocorreu um decréscimo populacional sem diferenciar-se estatisticamente da testemunha (Tabela 2).

Resultados semelhantes foram obtidos por SANTOS et al., (2009) que verificaram o aumento da população total de fungos a partir dos 60 dias de incubação com destaque para a dose de 200 m³.ha⁻¹. Estes mesmos autores verificaram que a população de bactérias não foi afetada significativamente até os 90 dias de incubação, podendo observar o crescimento a partir dos 120 dias. BORDIGNON et al. (2012) relataram também a influência positiva da aplicação da vinhaça no aumento da população de fungos e bactérias em solo.

Nos tratamentos com solo que receberam vinhaça no campo por quinze anos (SCV) a população de fungos pouco variou entre as doses testadas de vinhaça e a testemunha, porém o tratamento com 300 m³.ha⁻¹ de vinhaça se diferenciou significativamente dos demais e da testemunha, apresentando 18,75 UFC.g⁻¹ de solo. Contudo, para a população de bactérias, a aplicação da vinhaça proporcionou um aumento significativo em todos os tratamentos em comparação com a testemunha (Tabela 2), corroborando o que foi relatado por BORDIGNON et al. (2012), SANTOS et al. (2009) e MARTINS & CAMPOS (2011).

AGOSTINHO et al. (2014), avaliaram a influência de plantas de cobertura adubadas com vinhaça sobre os atributos biológicos de um Argissolo cultivado com feijão e concluíram que a adição de vinhaça não influenciou nos atributos biológicos do solo, diferente dos resultados encontrados neste trabalho, a aplicação de vinhaça em amostras de Argissolo incubadas por 120 dias influenciou de forma positiva a população de fungos e bactérias.

Analisando os dois tipos de manejo (SSV e SCV), pode-se observar que ocorreu diferença significativa entre os tratamentos (Figura 1). A dose que se destacou em ambos foi a de 200 m³.ha⁻¹, porém SCV2 diferiu de forma significativa dos demais, sendo seguido pelos tratamentos SCV3, SCV1 e SSV2, respectivamente. Sendo este último o único dos tratamentos SSV que teve diferença

estatística quando comparado com as testemunhas. De forma geral, a aplicação de vinhaça influenciou na população bacteriana de ambos os tipos de manejo, entretanto esta influência foi mais acentuada nos tratamentos que já recebiam fertirrigação com este resíduo no campo (Figura 1a).

Já para os fungos o único tratamento com diferença significativa foi o SCV3, cuja dose foi de $300 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 1b). Todavia, como ocorreu com as bactérias, também houve influência da aplicação da vinhaça na população de fungos, sendo positiva também nos tratamentos SCV1, SSV1, SSV2 e SSV3.

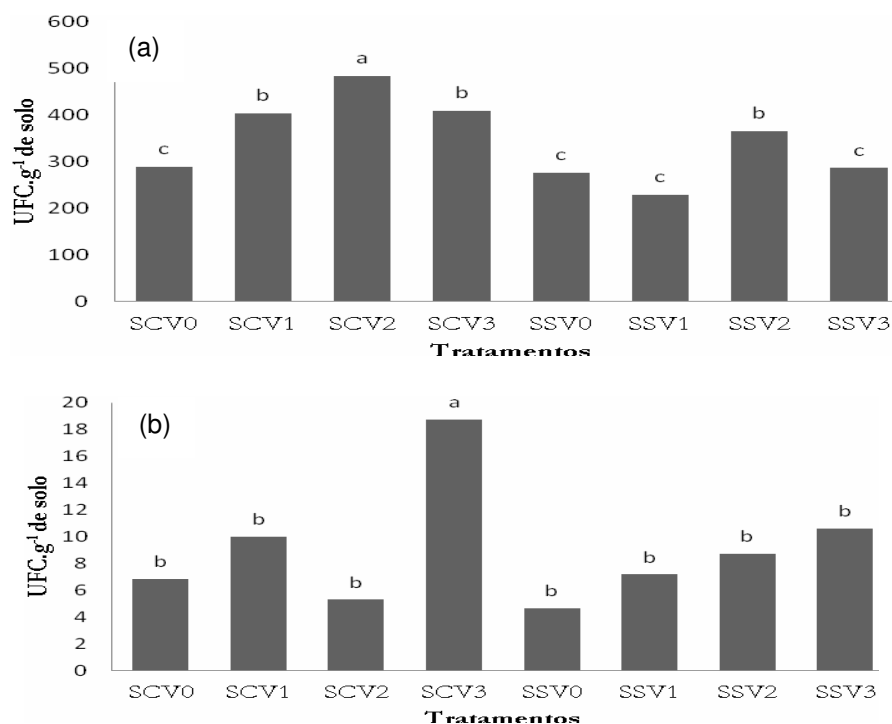


FIGURA 1 - População de bactérias (1a) e fungos (1b) em amostras de solo sob diferentes tipos de manejo incubadas com diferentes doses de vinhaça.

Fonte: Autores (2015)

Nos tratamentos foram identificados seis gêneros de fungos. O gênero de maior ocorrência foi o *Aspergillus*, seguido por *Penicillium*, *Rhizopus*, *Phoma*, *Trichoderma* e *Monilinia* (Tabela 3). BARROS et al., (2012) encontraram maior ocorrência do gênero *Aspergillus* em áreas fertirrigadas com vinhaça e também observou a ocorrência dos gêneros *Fusarium*, *Penicillium* e *Phytophthora*. Todos os gêneros identificados são habitantes comuns do solo tanto de áreas cultivadas como também de campos, florestas e solos arenosos (DOMSCH et al., 1993; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

TABELA 3 - Gêneros de fungos encontrados nas amostras de solo que não haviam recebido aplicação de vinhaça em campo (SSV) e solos que receberam aplicação constante de vinhaça em campo por 15 anos (SCV) nas diferentes dosagens experimentais.

Gêneros de Fungos	SSV0	SSV1	SSV2	SSV3	SCV0	SCV1	SCV2	SCV3
<i>Aspergillus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Monilinia</i>	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Penicillium</i>	X	-	X	X	X	X	-	X
<i>Phoma</i>	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Rhizopus</i>	X	X	-	X	-	-	X	X
<i>Trichoderma</i>	-	-	X	-	-	-	-	X
Total	4	3	4	5	5	3	3	5

Fonte: Autores (2015)

O teor de matéria orgânica nas amostras de solo do tratamento SSV (Figuras 2a e 2b) aumentou de acordo com o aumento das doses aplicadas de vinhaça. Neste tipo de manejo a população de fungos aumentou concomitante à elevação dos teores de matéria orgânica das amostras avaliadas, padrão este não apresentado pela população bacteriana. Segundo MARTINS & CAMPOS (2011) os microrganismos são sensíveis às mudanças no ambiente, respondendo rápido às alterações químicas e físicas no solo, causadas pela aplicação do vinhoto. Estas modificações no habitat podem explicar esse comportamento da população bacteriana em um momento inicial do uso da vinhaça por meio de fertirrigação.

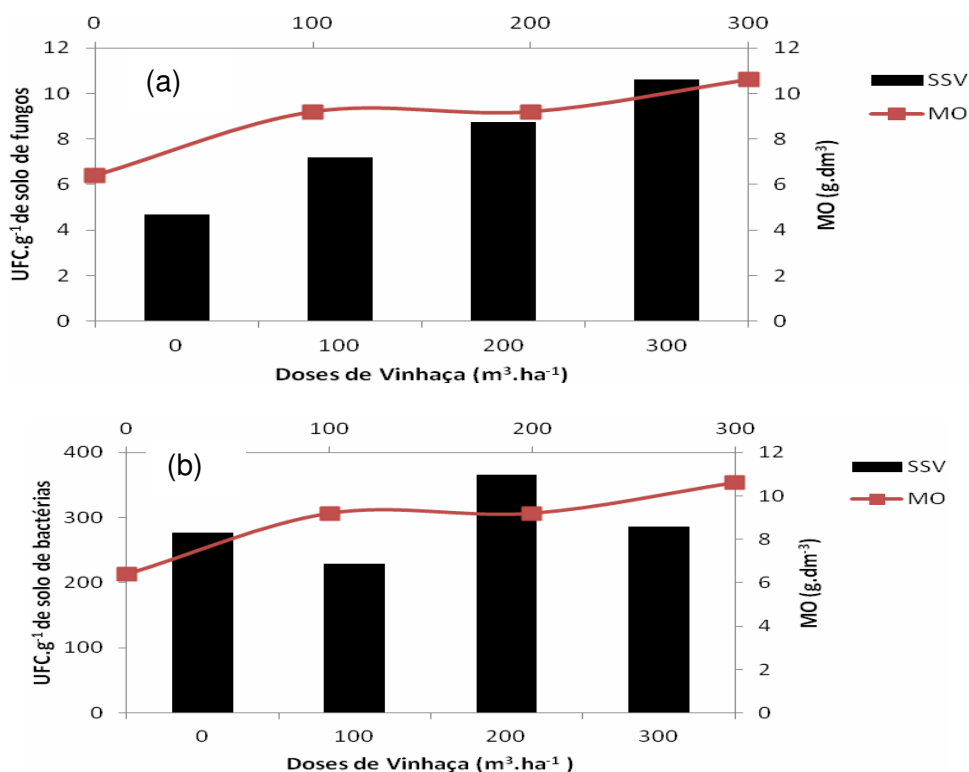


FIGURA 2 - Comparação entre as populações de fungos (2a), bactérias (2b) e teor de matéria orgânica nas amostras de solo que não receberam aplicação de vinhaça no campo (SSV) de acordo com diferentes doses de vinhaça.

Fonte: Autores (2015)

Essa redução no conteúdo de MO observados nos tratamentos SCV pode ser justificada pelo *efeito priming* (TERRY et al., 1979), que consiste no aumento da atividade microbiana do solo em decorrência da incorporação de nutrientes e, conseqüentemente, na taxa de degradação da matéria orgânica já existente no solo. Este mesmo comportamento foi observado por PAULA et al. (2013) na incubação de diferentes resíduos orgânicos em Latossolo vermelho-amarelo distrófico (lavd).

BARROS et al. (2010) observaram, estudando a utilização de vinhaça durante 10 anos, que ocorreu uma melhoria na disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica. Assim, após a mudança inicial estes microrganismos se adaptaram ao novo ambiente e com o tempo este habitat se tornou favorável ao desenvolvimento.

Para as amostras de solos do manejo SCV (Figuras 3a e 3b) ocorreu um aumento nos teores de matéria orgânica até a dose de 200m³.ha⁻¹ (SCV2) e em SCV3, observou-se uma redução acentuada para este parâmetro. Neste caso, a influência na população fúngica foi pouco efetiva e na população bacteriana ocorreu um aumento populacional de acordo com o aumento nos teores de matéria orgânica (MO) até a dose de 200m³.ha⁻¹.

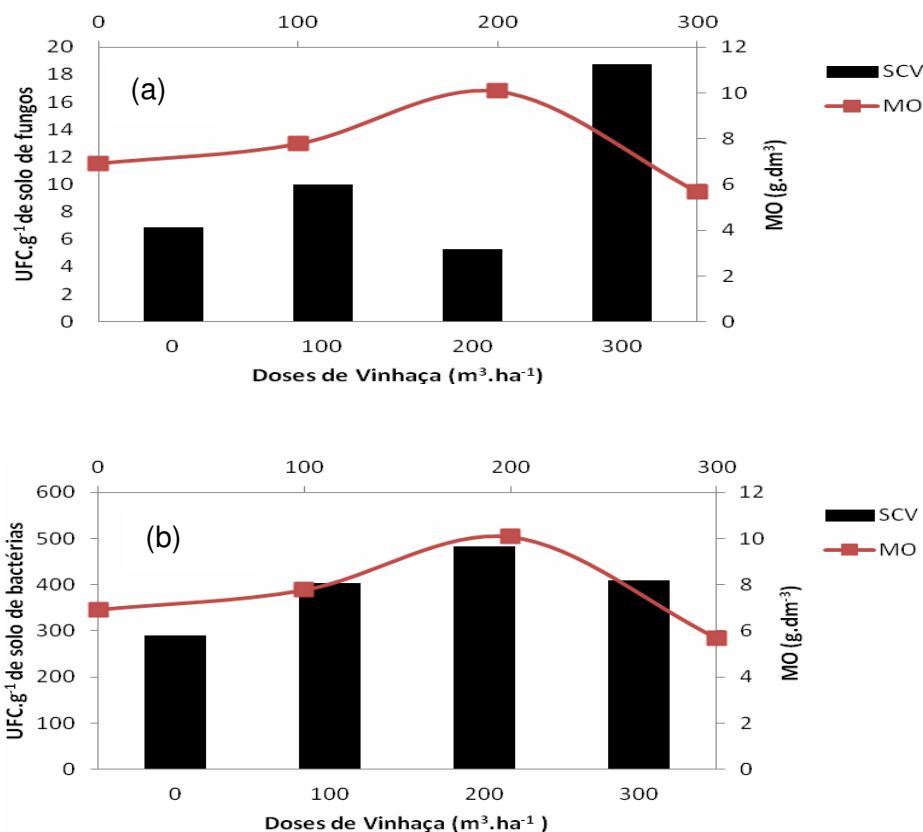


FIGURA 3 - Comparação entre as populações de fungos (3a), bactérias (3b) e teor de matéria orgânica nas amostras de solo que receberam aplicação de vinhaça durante 15 anos, no campo (SCV) de acordo com diferentes doses de vinhaça. Fonte: Autores (2015)

De acordo com os resultados encontrados neste estudo foi observado que a aplicação da vinhaça em amostras de solo incubadas em laboratório teve influencia na população de fungos e bactérias. Neste sentido torna-se necessário a validação

desses resultados em campo, pois é sabido que no meio ambiente ocorre interação de diversos fatores que não podem ser controlados e isolados. Muitos estudos vêm sendo realizados no sentido de utilizar os microrganismos do solo como bioindicadores de qualidade. MIRANDA et al. (2012), em estudo que identificou e quantificou a nematofauna de solos adubados com vinhaça, constataram uma baixa variabilidade de espécies e a abundância de nematoides parasitos de plantas. Os mesmos autores ainda afirmaram que este fato traduz o baixo equilíbrio das comunidades de microrganismos que tem ação direta na mineralização de nutrientes, e como consequência na qualidade do solo.

As características químicas e agrônômicas do solo podem ser observadas nas tabelas 4 e 5. Os valores demonstrados na tabela 5 de soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação de bases (V%) e o índice de saturação de potássio (ISK) foram calculados a partir dos resultados obtidos na análise do solo.

TABELA 4 - Análise química do solo que nunca recebeu aplicação de vinhaça (SSV) e solo que recebeu aplicação de vinhaça por 15 anos (SCV). Em que: SSV0, SSV1, SSV2, SSV3 e SCV0, SCV1, SCV2, SCV3 representam as diferentes dosagens experimentais após 120 dias de incubação.

Solo	Macronutrientes									
	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	C	MO	pH H ₂ O	pH CaCl ₂
	-----cmol _c .dm ⁻³ -----					mg.dm ⁻³	-----g.dm ⁻³ -----			
SV0	2,03	0,05	1,6	1,54	0,47	1,70	3,5	6,38	5,84	5,09
SV1	2,07	0	1,56	1,37	0,36	1,71	5,06	9,2	6,08	5,98
SV2	2	0	1,41	1,27	0,49	1,86	5,06	9,2	6,11	5,98
SV3	2,13	0	1,29	1,74	0,65	1,74	5,84	10,6	6,02	5,91
CV0	2,26	0,1	0,72	0,77	1,1	1,68	3,8	6,92	6,06	5,21
CV1	2,12	0,05	0,75	0,94	1,31	1,52	4,28	7,78	6,03	5,26
CV2	2,07	0	0,92	1,24	1,35	1,86	5,45	10,08	7	6,02
CV3	1,94	0	0,9	1,5	1,92	2,19	3,12	5,68	7,02	6,05

Fonte: Laboratório de análises químicas da Universidade Estadual de Maringá (2014).

Os teores dos macronutrientes Ca²⁺ e Mg²⁺ dos solos que não haviam recebido fertirrigação com vinhaça, referentes aos tratamentos SSV₀₋₃, com exceção do potássio, estão mais elevados que nos solos que receberam vinhaça por 15 anos (tratamentos SCV₀₋₃). Este fato pode ser atribuído ao índice de saturação de potássio (ISK – tabela 5) dos tratamentos. Este índice representa a taxa com que os sítios de troca catiônica do solo são ocupados pelo potássio. Neste sentido observa-se que para todos os tratamentos, os valores foram superiores aos 5% de cada CTC potencial (CTC pH 7,0) do solo (Tabela 5), limite recomendável para fertilidade de solos produtivos e equilibrados (TEIXEIRA et al., 2014). Porém é importante salientar que para ambos os tipos de manejo (SSV e SCV) os teores de potássio na solução do solo das testemunhas já estavam elucidados como alto e muito alto segundo RAIJ et al., (1996).

Os valores crescentes de ISK encontrados nos tratamentos podem estar correlacionados com a redução nos teores de Cálcio e Magnésio trocáveis observados na tabela 4, para os tratamentos com solo que não havia recebido vinhaça previamente no campo. Este fato pode ser explicado pela ocupação dos sítios pelo potássio excedente. De acordo com GARIGLIO et al. (2014), um acúmulo de potássio no solo, ocupando mais de 5% dos sítios de troca, propicia condições

para o deslocamento do cátion no mesmo, bem como proporciona o deslocamento de cálcio e magnésio, com conseqüente lixiviação para camadas mais profundas do solo, podendo causar o empobrecimento dos solos e a salinização das águas subterrâneas. Os efeitos dos resultados encontrados para o ISK neste trabalho também ficam evidenciados pela suave redução nos valores das variáveis soma de bases, CTC e V%, dos tratamentos analisados para o solo sem aplicação prévia de vinhaça no campo, conforme observado na tabela 5.

TABELA 5 - Condições químicas de um solo que nunca recebeu aplicação de vinhaça (SSV) e solo que recebeu aplicação de vinhaça por 15 anos (SCV). Em que: SSV0, SSV1, SSV2, SSV3 e SCV0, SCV1, SCV2 e SCV3 representam as diferentes dosagens experimentais após 120 dias de incubação.

Solo	SB	CTC efet.	CTC pH 7.0	V%	ISK
	-----cmol _c .dm ⁻³ -----				
SSV0	3,6	3,66	5,64	64	8,3
SSV1	3,3	3,29	5,36	61	6,7
SSV2	3,2	3,17	5,17	61	9,5
SSV3	3,7	3,68	5,81	63	11,2
SCV0	2,6	2,69	4,85	53	22,7
SCV1	3	3,05	5,12	59	25,6
SCV2	3,5	3,51	5,58	63	24,2
SCV3	4,3	4,32	6,26	69	30,7

Fonte: Autores (2015).

Ocorreu aumento nos teores de Fósforo e Potássio concomitante à elevação das doses de vinhaça, de acordo com os tratamentos (Figuras 4a e 4b). Também foi observada elevação dos teores desses nutrientes quando comparados os solos sem e com aplicação prévia da vinhaça no campo. Desempenho semelhante para estes mesmos nutrientes foram encontrados por GARIGLIO et al., (2014).

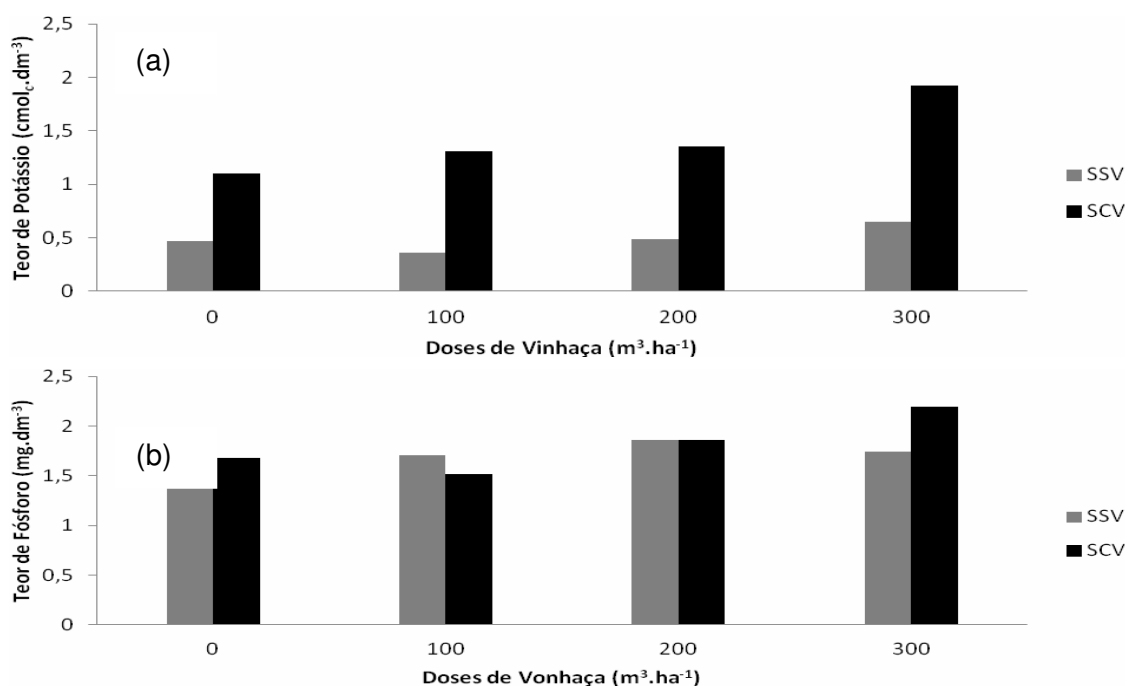


FIGURA 4 - Teores de Potássio (4a) e Fósforo (4b) de acordo com as diferentes doses de vinhaças aplicadas, em solos que não receberam vinhaça previamente (SSV) e nos solos que receberam vinhaça durante 15 anos (SCV)

Fonte: Autores (2015).

De acordo com OLIVEIRA et al. (2007) a vinhaça pode ser utilizada para suprir toda necessidade de Potássio para a cultura de cana de açúcar. Neste sentido, torna-se evidente o potencial da vinhaça para a fertirrigação de diversas culturas, porém deve-se atentar para os critérios adotados na quantidade do resíduo a ser aplicado em função do potencial salinizador do solo.

O pH dos tratamentos sofreu leve alteração em função do aumento nas doses de vinhaça (Figura 5). Nas amostras do solo que não recebeu aplicação prévia do resíduo, o pH levemente ácido foi mantido, porém ocorreu um aumento no pH a partir da dose de 200 m³.ha⁻¹, tendendo à neutralidade da solução do solo. Em estudos de incubação de solos com vinhaça concentrada e não concentrada SILVA et al. (2013a) observaram uma leve acidificação do meio em ambos os tratamentos avaliados, resultados contrários aos encontrados neste estudo.

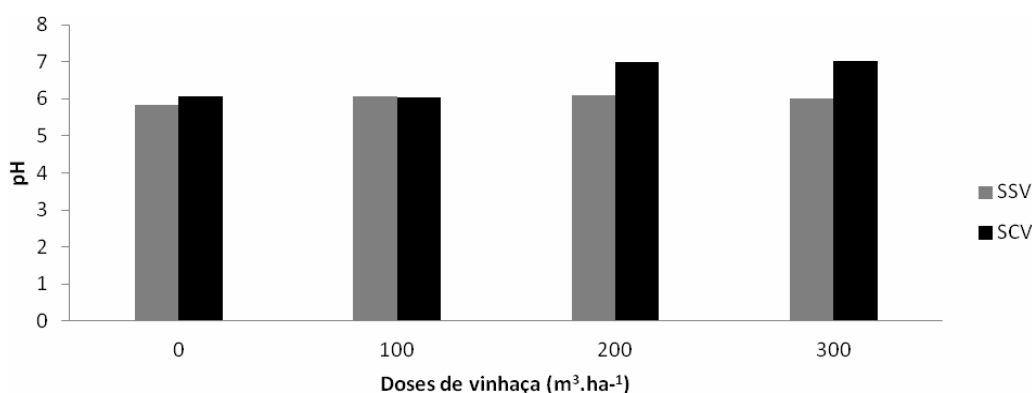


FIGURA 5 – pH dos tratamentos em relação às doses aplicadas de vinhaça nas amostras do solo que não recebeu aplicação prévia de vinhaça (SSV) e do solo que foi fertirrigado com a mesma por um período de 15 anos (SCV).

Fonte: Autores (2015)

CONCLUSÃO

- Para a população de fungos no solo que havia recebido vinhaça por 15 anos, somente tiveram diferenças estatísticas significativas, com aumento de unidades formadoras de colônias para a dose de 300 m³.ha⁻¹. E para o solo que não havia recebido aplicações prévias de vinhaça houve um aumento no número de unidades formadoras de colônias, nas doses de 200 e 300 m³.ha⁻¹.

- Para a população de bactérias no solo que foi fertirrigado com vinhaça por 15 anos, houve aumento significativo em todos os tratamentos em comparação com a testemunha. Já nos solos que não receberam aplicação anterior deste resíduo somente houve aumento populacional para a dose de 200 m³.ha⁻¹.

- Quanto à matéria orgânica, ocorreu incremento nos teores de acordo com o aumento das doses aplicadas de vinhaça para ambos os tipos de manejos. Porém nos solos fertirrigados previamente com vinhaça, após a dose de 200m³.ha⁻¹ foi observado uma redução acentuada para este parâmetro.

- Com relação às características químicas, para o solo que recebeu aplicação de vinhaça por muito tempo no campo, os teores de cálcio e magnésio encontrados na solução foram menores dos que os encontrados no solo que não recebia fertirrigação e os teores de potássio e fósforo maiores.

- Os valores de pH sofreram leve aumento no solo que recebeu aplicações sucessivas de vinhaça por 15 anos a partir da dose de 200m³.ha⁻¹.
- Quanto ao ISK este ficou acima de 5% em todos os tratamentos.

AGRADECIMENTOS

Ao ICETI (Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação) pelo apoio e concessão de bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, P. R.; GOMES, M. S.; GOMES, S. S.; ESCOBAR, M.; SILVA, R. F. Atributos Biológicos do Solo Cultivado com Feijoeiro em Sucessão a Plantas de Cobertura, com Adição de Vinhaça. **Cadernos de Agroecologia**, v.9, n.4, p. 1-12, 2014. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/16761>>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

BARROS, R. P.; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L. ; SOUZA, R. M. ; BARBOSA. L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. DE V.; MELO, A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, p.341-346, 2010. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/6422>>. doi: 10.5216/pat.v40i3.6422

BARROS, R. P. Diversidade de fungos em um vertissolo com adição de vinhaça na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Revista Uniabeu**, v. 5, n. 10, p. 181-196, 2012. Disponível em: <http://www.uniabeu.edu.br/publica/index.php/RU/article/view/381/pdf_208>.

BORDIGNON A. J.; DELFINO E. R.; MARTINS N. M.; SILVA R. F.; BATISTOTE M. Quantificação da microbiota de solos fertirrigado com vinhaça. **Cadernos de Agroecologia**, v.7, n.2, p. 1-4, 2012. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/13158>>.

CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.; GODOY, C. V. SASM – Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos de Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**. v.1, n.2, p. 18-24. 2001. Disponível em: <http://agrocomputacao.deinfo.uepg.br/dezembro_2001/Arquivos/RBAC_Artigo_03.pdf>.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar. Terceiro levantamento, Safra 2016/17**, n. 3, p.1-74. Brasília: Conab 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_27_16_30_01_boletim_cana_portugues_-3o_lev_-_16-17.pdf>.

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, n. 12, p. 2752-2761, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>. doi:10.1016/j.wasman.2013.09.005

DOMSCH, K. H.; GAMS, W.; ANDERSON, T. H. **Compendium of soil fungi**. ed.2, v.1. Eching: IHW-Verlag, 1993.

ESPAÑA-GAMBOA, E.; MIJANGOS-CORTES, J.; BARAHONA-PEREZ, L.; DOMINGUEZ-MALDONADO, J.; HERNANDEZ-ZARATE, G.; ALZATE-GAVIRIA, L. Vinasse characterization and treatments. **Waste Manage**, v.29, p.1235-1250, 2011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21242176>. doi: 10.1177/0734242X10387313.

FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. **Qual o valor da vinhaça? Mitigação de impacto ambiental e recuperação de energia por meio da digestão anaeróbica**. Cultura Acadêmica/PROGRAD-Unesp. São Paulo. 1º ed., 398 p., 2013.

FUESS, L.T.; GARCIA, M.L. Implications of stillage land disposal: a critical review on the impacts of fertigation. **Journal of Environmental Management**, 145, p. 210-229, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.003>. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.07.003

GARIGLIO, H. A. A.; MATOS, A. T.; MONACO, P. A. V. Alterações físicas e químicas em três solos que receberam doses crescentes de vinhaça. **Irriga**, v. 19, n. 1, p. 14-24, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2014v19n1p14>. doi: 10.15809/irriga.2014v19n1p14

GASPAROTTO, F.; RODRIGUES, F. da S.; SERATTO, C. D.; COSTA, T. R. (Org.). CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ Núcleo de Educação a Distância. **Cadeias produtivas da cana-de-açúcar, do algodão e de frutas**. Reimpressão revista e atualizada, Maringá - Pr, 219 p. 2014.

GIACHINI, C. F.; FERRAZ, M. V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar-revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, ano VII, n. 15, p. 1-5, 2009.

MARTINS, M. D.; CAMPOS, D. T. Qualidade Microbiológica do Solo Fertirrigado com Vinhaça. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.9, n.2, p.273 - 282, 2011. Disponível em: http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol9-2/ARTIGO_9_RCAA_v9n2a2011.pdf

MIRANDA, T. L.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, E. F. F.; ROLIM, M. M. Alterações físicas e biológicas em solo cultivado com cana de açúcar após colheita e aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p. 150-158, 2012. Disponível em: http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=agraria_v7i1a897 >. doi: 10.5039/agraria.v7i1a897

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed., **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.25; p. 818 2017

atualizado e ampliado. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 729 p.

OLIVEIRA, B. G.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P., CERRI, C.C., FEIGL, B.J. Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. **Geoderma** v.200-201, p.77-84, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.02.005>. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.02.005

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACEDO, G. A. R; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007. Disponível em: http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/oliveira_cana_informeagropec.pdf

OLIVEIRA, S. C.; MIOTO, L. S.; REZENDE, M. K. A.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L. Efeitos da aplicação da vinhaça em capim aruana (*Panicum maximum* jacq. cv. aruana). **Enciclopédia biosfera**, v.11 n. 22, p.1096-1106, 2015. Disponível em:< http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_146>. doi: 10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_146

PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A. Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados ao solo em campo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, n.6, p. 1729 – 1741, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000600029>>. doi: 10.1590/S0100-06832013000600029

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C.et al. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Instituto Agrônomo de Campinas** - Campinas, 2 ed., 1996. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RIBEIRO, P. H. P.; LELIS NETO, J. A.; TEIXEIRA, M. B.; GUERRA, H. O. C.; DA SILVA, N. F.; CUNHA, F. N. Distribuição de potássio aplicado via vinhaça em latossolo vermelho amarelo e nitossolo vermelho. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, p. 403-410, 2014. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/257/pdf_191>. doi: 10.7127/rbai.v8n500257

SANTOS, T. M. C. S.; SANTOS, M.A.L.; SANTOS, C.G.; SANTOS, V.R.; PACHECO, D.S. Efeito da fertirrigação com vinhaça nos microrganismos do solo. **Revista Caatinga**, v. 22, n.1, p.155-160, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/956>>.

SILVA, M. A. S. DA; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108-114, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000100014>>. doi: 10.1590/S1415-43662007000100014

SILVA, A.; ROSSETTO, R.; BONNECINE, J.; PIEMONTE, M.; MURAOKA, T. Net and Potencial Nitrogen Mineralization in Soil with Sugarcane Vinasse. **Sugar tech**. n.15, v.2, p.159-164, 2013a. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-012-0199-0>>. doi:10.1007/s12355-012-0199-0

SILVA, P. C.; COSTA, R. A.; GIONGO, P. R.; MORAES, M. H.; LANA, R. M. Q. Aplicação de doses de vinhaça sob desenvolvimento vegetativo de pastagem degradada e propriedades físicas do solo. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n.17, p. 233-246 2013b. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/APLICACAO%20DE%20DOSES.pdf>.

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/22156/15610>>.

TERRY, R. E.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Carbon cycling during sewage sludge decomposition in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n.3, p. 494-499, 1979. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/43/3/SS0430030494>>. doi:10.2136/sssaj1979.03615995004300030013x

VIEIRA, M. D.; SANTOS, R. F.; ROSA, H. A.; WERNER, O. V.; DELAI, J. M.; OLIVEIRA, M. R. Potássio (K) no cultivo da linhaça *Linum usitatissimum*. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 1, p. 62-69, 2012. Disponível em: <[http://projetos.unioeste.br/pos/media/File/energia_agricultura/Potassio_\(K\)_no_cultivo_da_linhaca_Linum_usitatissimum.pdf](http://projetos.unioeste.br/pos/media/File/energia_agricultura/Potassio_(K)_no_cultivo_da_linhaca_Linum_usitatissimum.pdf)>.

YANG, S. D.; LIU, J. X.; WU, J.; TAN, H. W.; LI, Y. R. Effects of Vinasse and Press Mud Application on the Biological Properties of Soils and Productivity of Sugarcane. **Sugar Tech**, n.15, v.2, p. 152-158. 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-012-0200-y>>. doi: 10.1007/s12355-012-0200-y