

# **Alterações nos atributos químicos do solo por aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar<sup>1</sup>**

Iris Antonio dos Santos<sup>2</sup>, Mozaniel Batista da Silva<sup>3</sup>, Marcos André Silva Souza<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Artigo apresentado à Faculdade de Engenharia Ambiental como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental, Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade de Rio Verde, 2012.

<sup>2</sup>Aluno de Graduação, Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade de Rio Verde, 2012.

E-mail: [irisambiental@hotmail.com](mailto:irisambiental@hotmail.com)

<sup>3</sup>Orientador, Professor da Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, 2012. E-mail: [mozaniel@fesurv.br](mailto:mozaniel@fesurv.br)

<sup>4</sup>Co-orientador, Professor da Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, 2012. E-mail: [marcosandre@fesurv.br](mailto:marcosandre@fesurv.br)

## **RESUMO**

Dentre os resíduos gerados pela atividade sucroalcooleira, a vinhaça destaca-se, como um subproduto resultante da produção do etanol, pelo grande volume gerado que em média é de 12 litros para cada litro de etanol. Tendo em vista este grande volume produzido foi realizada a presente pesquisa, através da análise dos laudos de análise de solo de áreas localizadas no município de Jandaia, com cultivo de cana-de-açúcar, com o objetivo de verificar as alterações ocorridas nos atributos químicos do solo por aplicação de vinhaça. Nestas áreas as amostras de solo foram coletadas em 01/05/2011, de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,80-1,00 metros de profundidade. Os tratamentos constaram das análises de laudos de áreas sem aplicação de vinhaça e áreas com 15; 20; 25 e 30 anos de aplicação de vinhaça. Após a análise destes laudos verificou-se que todos os atributos químicos foram favorecidos pela aplicação contínua de vinhaça ao solo. Que independente da área ou ano de aplicação de vinhaça os níveis de cálcio e magnésio ficaram abaixo do exigido pela cultura da cana-de-açúcar, neste caso, recomenda-se calagem. Que adoção de aplicação da vinhaça proporcionou uma elevação da concentração potássio no perfil do solo enquanto a concentração de fósforo não teve um aporte significativo no perfil do solo em decorrência da vinhaça ter uma baixa concentração deste nutriente. Deve-se considerar o fornecimento deste nutriente via fertilizante ou adubação orgânica com torta de filtro. Dessa forma verificamos que o uso contínuo da vinhaça quando aplicada corretamente proporciona melhoria dos atributos químico do solo.

**Palavras-chave:** vinhoto, etanol, macro-micronutrientes.

**Changes in soil chemical properties by application of vinasse in the culture of sugar cane**

## **ABSTRACT**

Among the waste generated by the activity sugarcane, stillage stands out as a byproduct from the production of ethanol at high volume that generated on average is 12 liters for every liter of ethanol. Given this large volume produced this research was conducted by analyzing the reports of analysis of soil from areas located in the municipality of Jandaia with cultivation of sugar cane, in order to check the changes in the chemical attributes by soil application of vinasse. In these areas the soil samples were collected in 01/052 011, from 0 to 0.20, 0.20-0.40 and 0.80 to 1.00 meters deep. Treatments consisted of analysis of reports from areas without application of vinasse and areas with 15, 20, 25 and 30 years of application of vinasse. After analyzing these reports it was found that all attributes químicos were favored by the continuous application of vinasse to the soil. That regardless of area or year of application of vinasse levels of calcium and magnesium were lower than required by the culture of cane sugar, in this case, it is recommended liming. That adoption of vinasse application provided a high concentration of potassium in the soil profile while the phosphorus concentration did not have a significant contribution in the soil profile as a result of vinasse have a low concentration of this nutrient. One must consider the supply of this nutrient via fertilizer or organic fertilizer filter cake. Thus we see that the continuous use of vinasse when applied correctly provides improved chemical soil attributes.

**Keywords:** vinasse, ethanol, macro-micro

## **INTRODUÇÃO**

Na atualidade nas extensas áreas de produção de cana-de-açúcar, a geração de resíduos na indústria sucroalcooleira é por si só, impactante, tendo em vista as grandes quantidades de resíduos que são geradas. Dentre os resíduos gerados, pode-se destacar: a fuligem resultante da queimada da cana, a fuligem resultante da queima do bagaço nas caldeiras, a água de lavagem de cana, o bagaço, óleo fusel, torta de filtro e a vinhaça. Tanto a vinhaça quanto a torta de filtro, quer pelos efeitos positivos na produtividade da cana-de-açúcar, quer pelo valor fertilizante que possuem, podem ser considerados mais como subprodutos do que como resíduos (Orlando Filho, 1994).

A vinhaça é um subproduto da agroindústria alcooleira resultante da produção de álcool (etanol). Inicialmente, têm-se os mostos que são os líquidos susceptíveis à fermentação, uma vez fermentados passam a constituir os vinhos. Destilando-se os vinhos, recupera-se o etanol (álcool etílico) produzido pela fermentação alcoólica na forma de um líquido alcoólico denominado flegma, de concentração variável, restando um resíduo que é a vinhaça (Longo, 1994). Conforme a região geográfica, a vinhaça,

também recebe outras denominações, tais como: “calda”, “tiberna”, “restilo”, “garapão”, “vinhote”, “vinhoto” ou “caxixi” (Marques, 2006).

Dados de Levantamento realizado pelo Centro de Tecnologia Canavieira na safra de 2011/2012 e citado por Zotelli (2012), relata que a taxa de produção de vinhaça variou de 6,4 a 23,6 litros para cada litro de etanol produzido em 144 usinas localizadas no Centro-Sul do Brasil, com média de produção neste período de 12,2 litros de vinhaça por litro de etanol, média esta, dentro da proporção comumente citadas na literatura, entre 12 e 15 litros.

Considerando que para cada tonelada de cana-de-açúcar que é moída numa usina com destilaria anexa, são geradas cerca 156 litros de vinhaça (Rossetto, 2007), pode-se, inferir, que na safra de 2011/2012, em uma área de 8.368 mil ha onde foram produzidos 22.681.343 m<sup>3</sup> de etanol (22,689 bilhões), gerou em média, aproximadamente, 277 bilhões litros de vinhaça (MAPA, 2012).

A vinhaça é extremamente rica em potássio e pobre em fósforo, sendo que a torta de filtro é rica em fósforo e cálcio, e muito pobre em potássio (Orlando Filho, 1994). Pela grande concentração de potássio na vinhaça, que lhe confere um caráter poluidor foi proposta a Norma Técnica P 4.231 da CETESB de 2005, que define os critérios e procedimentos para sua aplicação em solos agrícolas (CETESB, 2006).

Para ser utilizada como adubo orgânico na cultura da cana-de-açúcar, faz-se necessária à realização da análise química do solo e da vinhaça. Com base nestes resultados, são definidas as quantidades de potássio (K) que serão aplicadas no solo, de acordo com as exigências da cultura. O K, por ser o nutriente químico que ocorre em maior quantidade na vinhaça, é o elemento que definirá o volume de vinhaça que será aplicado por unidade de área da cultura da cana-de-açúcar (Marques, 2006; Prezotto, 2009; Previtali, 2011).

Vários estudos foram realizados enfocando a disposição da vinhaça nos solos e seus benefícios para os atributos químicos, tais, como: a) elevação do pH; b) aumento da disponibilidade de alguns íons; c) aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e; d) aumento da capacidade de retenção de água, que se traduzem no aumento da produção da biomassa da cultura da cana-de-açúcar (Marques, 2006).

A utilização constante da vinhaça mais torta de filtro, refletem, em benefícios para a cultura da cana-de-açúcar, como também para o meio ambiente por serem todos reaproveitados no próprio local gerador destes subprodutos, como fontes de nutrientes e

matéria orgânica para solo, podendo substituir a adubação química a base de potássio e fósforo e micronutrientes importantes para a cultura da cana-de-açúcar.

Mas toda atenção deve ser dada a aplicação excessiva de vinhaça nos sulcos de plantio ou em áreas de soqueiras, que podem causar a lixiviação de nutrientes, como também, risco de salinização, pela concentração de sais no perfil do solo.

Neste sentido o objetivo deste trabalho foi de analisar os laudos de análises químicas de solo de áreas com e sem aplicação de vinhaça por até trinta anos, e as mudanças químicas ocorridas no perfil do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi baseada em laudos de análises de solos de áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar no município de Jandaia. Na altitude de 637 m, 17° 02' 56" de latitude Sul e 50° 08' 45" de longitude Oeste. Foram utilizadas nestas áreas irrigação por aspersão – carretel enrolador, aplicando uma lâmina por ano de, em cana-planta, em pré-plantio de 600 m<sup>3</sup> e duas lâminas de 250 m<sup>3</sup> pós-plantio e em cana soca, de duas a três lâminas de 600 m<sup>3</sup>, em uma área de aproximadamente 12.000 ha. Nestas áreas as amostras de solo foram coletadas com trado (01/05/2011), de 0 – 0,20, 0,20 - 0,40 e 0,80 – 1,00 m de profundidade. Os tratamentos constaram da análise de laudo de área sem aplicação de vinhaça (testemunha) e áreas com 15; 20; 25 e 30 anos de aplicação de vinhaça. O solo foi retirado nos devidos talhões e foram avaliados, obedecendo, os critérios de amostragem adotados pela Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). As amostras foram encaminhadas para análise de solo no laboratório SOLOCRIA LABORATÓRIO AGROPECUÁRIO LTDA. A análise de fertilidade de rotina foi realizada com base em metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Foram determinados os seguintes atributos do solo: Al – alumínio trocável; Ca – cálcio; Mg – magnésio; K – potássio; P- fósforo; M.O. – matéria orgânica; Zn – zinco. A CTC a pH 7,0 foi determinada pela soma dos teores extraíveis de Ca<sup>+2</sup>+ Mg<sup>+2</sup>+ K<sup>+</sup>+ Al<sup>+3</sup>. Os resultados dos dados amostrais dos atributos foram tabulados depois de submetidos à análise de estatística descritiva, obtendo-se as estimativas de média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo dos valores dos atributos analisados. Estas estimativas dos amostrais foram confrontadas com parâmetros

pré-estabelecidos para a cultura da cana-de-açúcar visando obter a real situação dos atributos químicos do solo destas áreas, quando da aplicação de vinhaça.

A seguir são apresentados os resultados da composição química da vinhaça utilizada nesta pesquisa (Tabela 1). Quando se utiliza o caldo de cana para a fermentação e a vinhaça resultante é sempre menos concentrada que a vinhaça proveniente de mosto de melaço ou de mosto misto. Além disto, a concentração da vinhaça varia durante a safra, em função da moagem de diferentes variedades, com diferentes índices de maturação, de diferentes níveis de fertilidade do solo.

**Tabela 1.** Caracterização química da vinhaça utilizada nesta pesquisa.

	Unidades	Amostras		
		Água	Vinhaça	Vinhaça + Água
		1	2	3
Nitrogênio	kg m <sup>-3</sup>	0,060	0,270	0,090
Fósforo	kg m <sup>-3</sup>	0,045	0,160	0,068
Potássio	kg m <sup>-3</sup>	0,120	1,440	0,480
CaO	kg m <sup>-3</sup>	0,070	0,280	0,098
MgO	kg m <sup>-3</sup>	0,033	0,166	0,066
SO <sub>4</sub>	kg m <sup>-3</sup>	0,030	0,300	0,090
Cobre	mg kg <sup>-1</sup>	0,25	0,30	0,16
Ferro	mg kg <sup>-1</sup>	13,40	17,40	16,30
Manganês	mg kg <sup>-1</sup>	0,40	2,70	1,00
Zinco	mg kg <sup>-1</sup>	0,30	0,65	0,36
Cobalto	mg kg <sup>-1</sup>	0,001	0,001	0,001
Molibdênio	mg kg <sup>-1</sup>	0,001	0,002	0,001
Boro	mg kg <sup>-1</sup>	0,001	0,006	0,002

- Nutrientes determinados na amostra “in natura”.

A determinação da quantidade de vinhaça a ser adicionada ao solo nas diversas áreas desta pesquisa foi calculada utilizando a equação abaixo, procurando respeitar a concentração máxima de potássio que não poderia exceder 5% da CTC.

$$\text{Volume de vinhaça (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)} = \frac{[0,05 \times \text{CTC} - k_s \times 3744 + 185]}{k_{vi}}$$

Em que:

0,05 = 5% da CTC;

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  a pH 7,0, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo e devidamente assinada por responsável técnico;

Ks = concentração de K o solo, expresso em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , à profundidade de 0,8 metros, dada pela análise de fertilidade do solo;

3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade do solo, expressos em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ou  $\text{meq cm}^{-3}$ , em kg de K em um volume de 1 hectare por 0,8 metros de profundidade;

185 =  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  extraído pela cultura por corte;

Kvi = concentração de K na vinhaça, expressa em  $\text{kg m}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , apresentada em boletim de resultado analítico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição ao solo de vinhaça por um período de 30 anos proporcionou elevação do conteúdo de potássio no perfil do solo quando comparado a áreas que não foram irrigadas com vinhaça (Tabela 2). Em todas as profundidades foram observadas, aumentos dos teores máximos de potássio na proporção de: 0 - 20 cm (153%); 20 - 40 cm (391%) e 80 - 100 cm de (700%) quando comparamos as áreas com irrigação por 30 anos com a área sem irrigação.

O aumento no teor de K no solo causado pela adição de vinhaça é esperado já que a mesma possui uma elevada concentração deste nutriente (Tabela 1).

Orlando Filho et al. (1993) afirma que o K é o elemento exigido em maior quantidade pela cultura da cana-de-açúcar, apesar de não fazer parte de nenhum composto orgânico. Ele é associado como cofator de aproximadamente 60 enzimas, principalmente ligadas ao metabolismo de açúcares, transformações anabólicas e catabólicas de sacarose e hexose. Também, segundo Malavolta (1982), confere às plantas resistência ao tombamento pelo vento devido à lignificação das células esclerenquimáticas e aumento a espessura das paredes celulares do colmo.

Na carência reflete baixos níveis de sacarose, menor crescimento, diminuição de perfilhamento da cana, além da formação de colmos mais finos com internódios mais curtos (Orlando Filho, 1993).

**Tabela 2.** Estatística descritiva de atributos do solo relacionados ao cultivo de cana-de-açúcar, irrigação com vinhaça por 15, 20, 25 e 30 anos e sem irrigação, em três profundidades.

Atributos do solo								
Áreas <sup>1</sup> (anos)	-----Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )-----							
	-----0-20 cm de profundidade-----							
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	LII	LSI	CV(%)
0	23	54	37,25	38,00	10,43	30,62	43,88	28,00
15	29	103	59,17	59,50	24,32	43,72	74,62	41,10
20	59	130	96,00	95,00	23,74	77,75	114,25	24,73
25	69	186	115,70	106,50	38,16	88,40	143,0	32,98
30	12	137	58,67	42,00	40,44	27,59	89,75	68,92
-----20 - 40 cm de profundidade-----								
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	LII	LSI	CV(%)
Sem	13,00	35,00	22,50	21,00	8,79	16,92	28,09	39,05
15	15,00	105,00	47,33	47,00	30,58	23,82	70,84	64,60
20	31,00	85,00	55,11	54,00	18,45	40,93	69,29	33,48
25	20,00	141,00	71,80	70,50	37,10	45,26	98,34	51,68
30	7,00	172,00	55,89	25,00	59,63	10,05	101,73	106,69
-----80 - 100 cm de profundidade-----								
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	LII	LSI	CV(%)
Sem	8,00	21,00	11,75	11,00	3,89	9,14	14,36	33,09
15	8,00	95,00	24,11	15,00	27,32	3,11	45,11	113,33
20	10,00	47,00	21,78	17,00	14,07	10,96	32,60	64,60
25	11,00	150,00	50,50	37,00	43,91	19,10	81,91	86,95
30	8,00	168,00	46,44	21,00	52,66	5,96	86,92	113,38

<sup>1</sup> Áreas – quantidades de laudos analisados: 0 (sem irrigação) - 12; com 15 anos - nove ; 20 anos- nove ; 25 anos- 10 ; 30 anos - nove.

(LII) – Limite inferior do intervalo de confiança da média a 95% de probabilidade; (LSI) – Limite superior do intervalo de confiança da média a 95% de probabilidade; (CV) – Coeficiente de variação em porcentagem.

Como o K tem alto potencial de lixiviação, é importante considerar a necessidade de K e a capacidade de retenção de cátions no solo, na tomada de decisão da dose de vinhaça a ser aplicada, a fim de minimizar os impactos ambientais ocasionados pelo uso agrícola do subproduto.

Houve acréscimo nos teores de P (Tabela 3) nas três profundidades do solo estudadas, quando comparada com área sem irrigação. Este aporte evidencia que este nutriente não foi fornecido pela via vinhaça e sim, pelas constantes aplicações no sulco de plantio em

cana-planta e em soqueiras, de torta de filtro, bastante utilizada nestas áreas para o fornecimento de P, Ca e matéria orgânica, em complementação a aplicação de vinhaça. Isto explicaria a concentração mais alta P na profundidade de 0-20 cm em relação à profundidade de 80-100 cm.

**Tabela 3.** Estatística descritiva de atributos do solo relacionados ao cultivo de cana-de-açúcar, irrigação com vinhaça por 15, 20, 25 e 30 anos e sem irrigação, em três profundidades.

		Atributos do solo						
Áreas <sup>1</sup> (anos)		Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )						
		0 - 20 cm de profundidade						
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	LII	LSI	CV(%)
0	4,30	24,30	11,07	7,60	7,32	6,42	15,72	66,10
15	0,80	8,80	3,69	3,40	2,51	1,08	6,30	68,06
20	1,20	6,40	3,40	3,40	1,69	1,92	4,52	52,32
25	1,50	6,70	2,91	2,25	1,56	1,79	4,03	53,76
30	1,50	35,40	8,54	5,00	10,46	0,50	16,58	122,43
		20 - 40 cm de profundidade						
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	LII	LSI	CV(%)
Sem	1,80	5,30	3,53	3,35	1,22	2,76	4,31	34,42
15	0,30	2,40	0,90	0,80	0,66	0,40	1,41	73,28
20	0,50	6,40	1,74	1,20	1,80	0,36	3,13	103,15
25	0,30	7,40	2,10	1,00	2,29	0,46	3,74	109,12
30	0,80	13,60	3,36	2,40	3,96	0,32	6,40	118,06
		80 - 100 cm de profundidade						
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	LII	LSI	CV(%)
Sem	0,80	1,80	1,27	1,20	0,41	1,01	1,53	32,35
15	0,50	0,80	0,57	0,50	0,13	0,47	0,67	23,34
20	0,30	1,50	0,67	0,50	0,37	0,39	0,91	55,62
25	0,30	2,70	0,96	0,80	0,71	0,45	1,47	73,85
30	0,50	2,70	1,10	0,80	0,67	0,49	1,72	60,47

<sup>1</sup>Áreas – quantidades de laudos analisados: 0 (sem irrigação) - 12; com 15 anos - nove; 20 anos - nove; 25 anos - 10; 30 anos - nove.

(LII) – Limite inferior do intervalo de confiança da média a 95% de probabilidade; (LSI) – Limite superior do intervalo de confiança da média a 95% de probabilidade; (CV) – Coeficiente de variação em porcentagem.

Nesta pesquisa foram observadas, para os teores máximos, aumentos de 45,68% para profundidade 0 – 20 cm; 156,60% para 20 – 40 cm e de 50% para a profundidade de 80 – 100 cm em relação a área irrigada por trinta anos com vinhaça e sem. Busato et al.(2005), também, verificaram que em área com aplicação de vinhaça, foram observadas aumento



de 201% para a profundidade de 0 -20 cm e 267% para 20 – 40 cm quando comparada à área que não recebeu este subproduto.

O fósforo é o elemento que atua na fotossíntese, na respiração, no armazenamento e transferência de energia e na divisão celular. O suprimento adequado de P desde o início do desenvolvimento vegetal é importante para a formação dos primórdios das partes reprodutivas. O P promove a formação e o crescimento prematuro das raízes. Em áreas com históricos de veranicos e em épocas que ocorram déficits hídricos o rápido desenvolvimento do sistema radicular é fundamental, pois assim, as raízes penetram nas camadas mais profundas, com maior disponibilidade de água (Raij, 1991). Além disso, o fósforo tem grande importância na qualidade da matéria prima, pois teores de  $P_2O_5$  acima de  $300 \text{ mg L}^{-1}$  facilitam a clarificação do caldo.

Apesar de comparativamente aos outros nutrientes, o fósforo ser exigido em menores quantidades são necessárias adubações pesadas para fornecimento do fósforo exigido pela cultura da cana-de-açúcar, como a complementação da adubação com vinhaça, com a aplicação de torta de filtro, ou no sulco de plantio ou nas entre linhas da cana, devido aos solos brasileiros ser naturalmente pobres neste nutriente, além de sua grande habilidade de reagir com outros nutrientes, como Al, Ca, Fe, silicatos e argilas formando compostos insolúveis (Lopes, 1989).

Adição de vinhaça ao solo, por 30 anos, proporcionou a elevação do conteúdo de Cálcio, Magnésio e zinco em profundidade quando comparada com áreas sem irrigação com vinhaça (Tabela 4). No caso do zinco este pode ter sua concentração diminuída pela elevação do pH, caso este verificado na profundidade de 20 - 40 cm para área com 30 anos com irrigação com vinhaça (Tabela 6). Observou-se variação nos teores de macro e micronutrientes, entre áreas e as profundidades (Tabela 4). Na camada de 0 – 20 cm da área que não recebeu vinhaça, a concentração de Zinco foi semelhante, quando comparada com a mesma camada com 30 anos de aplicação de vinhaça. O motivo é que este elemento tem alta concentração na vinhaça quando comparada aos outros micronutrientes. Para valores de pH alto houve uma leve diminuição dos teores de Zinco no solo.

**Tabela 4.** Valores médios dos teores de Ca, Mg, Zn e Al, em solo cultivado com cana-de-açúcar, irrigação com vinhaça por 15, 20, 25 e 30 anos e sem irrigação, em três profundidades.

<b>Cálcio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>						
Profundidade (cm)	<b>Áreas (anos)</b>					<b>CV</b>
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	2,16	1,51	1,98	2,64	3,24	28,64
20 – 40	1,19	1,03	1,39	1,49	2,43	36,28
80 - 100	0,40	0,69	1,20	0,96	1,71	50,44
<b>Magnésio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>						
Profundidade (cm)	<b>Áreas (anos)</b>					<b>CV</b>
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	0,44	0,37	0,52	0,71	0,83	33,34
20 – 40	0,25	0,30	0,37	0,48	0,59	34,61
80 - 100	0,21	0,21	0,29	0,34	0,49	37,67
<b>Zinco (mg dm<sup>-3</sup>)</b>						
Profundidade (cm)	<b>Áreas (anos)</b>					<b>CV</b>
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	1,06	1,66	1,48	1,31	1,07	19,79
20 – 40	0,47	1,06	0,79	0,94	0,88	26,92
80 - 100	0,22	0,74	0,76	0,54	1,41	59,37
<b>Alumínio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>						
Profundidade (cm)	<b>Áreas (anos)</b>					<b>CV</b>
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	0,02	0,13	0,06	0,00	0,01	120,90
20 – 40	0,13	0,07	0,02	0,01	0,00	117,67
80 - 100	0,27	0,09	0,00	0,01	0,03	139,75

<sup>1</sup>Áreas – quantidades de laudos analisados: 0 (sem irrigação) - 12; com 15 anos - nove ; 20 anos-nove ; 25 anos-10 ; 30 anos - nove. (CV) – Coeficiente de variação em porcentagem.

Nas áreas avaliadas, verificou-se um aporte maior de potássio e fósforo nas camadas 0 -20 cm e 20 – 40 cm (Tabela 5). Entre as três profundidades, o K apresentou os maiores teores na camada 0 -20 cm quando comparado com a profundidade de 80 – 100 cm. Pode-se inferir que, apesar da sua forma líquida, a vinhaça tende a concentrar o K nas camadas superiores do solo das áreas irrigadas. A correção do solo promove maior CTC aumentando a capacidade de adsorção dos íons de potássio. Tal comportamento foi

observado na superfície do solo das áreas irrigadas, bem como a diminuição dos teores em profundidade.

**Tabela 5.** Valores médios dos teores de K, P, Matéria orgânica, em solo cultivado com cana-de-açúcar, irrigação com vinhaça por 15, 20, 25 e 30 anos e sem irrigação, em três profundidades.

<b>Potássio (mg dm<sup>-3</sup>)</b>						
Profundidade (cm)	<b>Áreas<sup>1</sup> (anos)</b>					<b>CV</b>
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	37,25	66,78	96,00	115,70	58,67	41,47
20 – 40	22,50	47,33	55,11	71,80	55,89	35,65
80 - 100	11,75	24,11	21,78	50,50	46,44	54,16
<b>Fósforo (mg dm<sup>-3</sup>)</b>						
Profundidade (cm)	<b>Áreas (anos)</b>					<b>CV</b>
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	11,07	3,69	3,22	2,91	8,54	62,83
20 – 40	3,53	0,90	1,74	2,10	3,36	47,81
80 - 100	1,27	0,57	0,67	0,96	1,10	31,96
<b>Alumínio+ H (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>						
Profundidade (cm)	<b>Áreas (anos)</b>					<b>CV</b>
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	1,53	2,32	2,51	1,72	1,62	22,88
20 – 40	1,90	1,68	1,63	1,50	1,30	13,86
80 - 100	1,62	1,59	1,46	1,44	1,41	6,28

<sup>1</sup> Áreas – quantidades de laudos analisados: sem irrigação - 12; com 15 anos - nove; 20 anos- nove ; 25 anos- 10 ; 30 anos - nove. CV – Coeficiente de variação em porcentagem.

Segundo Silva e Ribeiro (1998), o pH dos solos tratados com vinhaça aumenta, principalmente em áreas cultivadas há bastante tempo, fato este verificado nesta pesquisa para área com 30 de aplicação de vinhaça (Tabela 6) em todas as camadas foram observadas pH a cima de 5,70, enquanto que na área sem vinhaça o pH ficou abaixo de 5,60.

Acreditava-se nos primeiros estudos da aplicação da vinhaça, que a acidez do solo aumentava, devido à composição da vinhaça, porém descobriu-se que a acidez diminui. Em geral, quando se adiciona material orgânico ao solo em condições aeróbicas ocorre a oxidação do carbono orgânico, que perde elétrons que são recebidos pelo O gerando o íon

O<sub>2</sub><sup>-</sup>, que apresenta forte característica básica, ou pelo íon H<sup>+</sup>, consumindo os íons geradores de acidez (Rosseto e Mutton, 2007).

**Tabela 6.** Matéria orgânica do solo (MOS), pH, capacidade de troca catiônica (CTC pH 7,0) e saturação por bases (V%) de solo cultivado com cana-de-açúcar, irrigação com vinhaça por 15, 20, 25 e 30 anos e sem irrigação, em três profundidades.

<b>Matéria Orgânica do solo (mg dm<sup>-3</sup>)</b>						
Profundidade (cm)	Áreas (anos)					CV
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	8,33	14,78	10,00	7,60	6,89	33,18
20 – 40	5,75	10,67	5,11	3,50	3,56	51,34
80 - 100	3,58	9,11	2,67	2,10	2,56	39,58
<b>pH em CaCl<sub>2</sub></b>						
Profundidade (cm)	Áreas (anos)					CV
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	5,60	4,93	5,14	5,68	5,77	6,78
20 – 40	5,17	5,06	5,41	5,83	6,06	7,77
80 - 100	4,53	5,01	5,81	5,77	5,76	10,00
<b>CTC pH 7,0 (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>						
Profundidade (cm)	Áreas					CV
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	4,22	4,37	5,26	5,37	5,85	13,86
20 – 40	3,40	3,13	3,53	3,50	4,46	13,98
80 - 100	2,24	2,55	3,00	2,87	3,73	19,46
<b>Saturação por bases (V %)</b>						
Profundidade (cm)	Áreas (anos)					CV
	0	15	20	25	30	(%)
0 – 20	62,46	44,26	50,97	67,08	70,52	18,77
20 – 40	44,75	43,58	53,07	57,34	67,51	18,44
80 - 100	27,69	34,24	51,41	49,61	55,95	27,75

(CV) – Coeficiente de variação em porcentagem.

A elevação do pH ocorre pela ação de microrganismos causado pela proliferação de fungos na área onde a vinhaça foi aplicada e com isso o solo vai neutralizando, logo quando a vinhaça é aplicada, a acidez aumenta, depois que ocorre a redução, aumentando as bactérias (Magalhães, 2010).

Em cada área e entre as três profundidades avaliadas, foram observados teores diferentes de MO (Tabela 6). Na camada de 0 - 20 cm foi a que apresentou maiores teores de MO para qualquer área estudada. Este aumento pode contribuir com maior retenção de cátions e diminuir suas perdas por lixiviação.

Verificou-se que a adição de vinhaça promoveu a elevação da CTC, saturação por bases (V%), quanto ao pH as alterações foram pequenas (Tabela 6). A elevação da CTC pode ser justificada pelo grande aporte de matéria orgânica representada pelas adições da vinhaça e torta de filtro. Pelas características, coloidal da matéria orgânica contida na vinhaça, sua adição confere ao solo maior quantidade de cargas negativas, diminuindo o potencial de lixiviação de cátions (Glória e Orlando Filho, 1983).

O aumento no teor de K no solo causado pela adição de vinhaça é esperado já que a mesma possui uma elevada concentração deste nutriente. Em seus estudos Camargo et al. (1983), verificaram aumento no teor de K e no pH do solo que recebeu vinhaça. O aumento de pH também foi verificado nesta pesquisa para área com 30 anos de vinhaça. Da mesma forma, o aumento nas concentrações de Ca e Mg também é consequência dos seus elevados teores na vinhaça (Tabela 1) e torta de filtro que não foi objeto de estudo desta pesquisa. Consequentemente, os solos tratados com vinhaça apresentaram elevadas CTC e a soma de bases (S), já que as mesmas são determinadas a partir da soma de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  (Van Raij et al., 2001). Além disso, os valores desses nutrientes contribuíram para aumento da V%, o qual é obtido pela razão entre a soma de bases (S) e a CTC.

Observa-se que o pH e o Al tem comportamento inversos, ocorrendo a diminuição na concentração de Al no solo que recebeu vinhaça (Tabela 5). Esse é um efeito positivo do uso da vinhaça, pois com o aumento no pH é possível reduzir ou até mesmo eliminar os efeitos tóxicos do Al trocável do solo (Sousa et al., 2007). Por conseguinte, a acidez ativa e a saturação por alumínio também diminuem, uma vez que ambas estão relacionadas às concentrações de  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ .

A aplicação de vinhaça em muitas áreas é realizada de maneira desuniforme e altas dosagens, propiciando áreas com excesso de K. Esse excesso de K pode provocar retardamento do processo de maturação da planta, o que leva à queda no teor de sacarose e comprometimento da qualidade da matéria-prima. Além disso, o uso contínuo de vinhaça pode provocar a lixiviação de vários íons, sobretudo do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e do potássio (K) quando as dosagens ultrapassarem a capacidade de retenção do solo.

## CONCLUSÕES

Diante do exposto, concluí que todos os atributos analisados foram favorecidos pela aplicação contínua de vinhaça.

A aplicação de vinhaça proporcionou a elevação de macro e micronutrientes no perfil do solo, mas que os níveis de cálcio e magnésio ficaram abaixo dos exigidos pela cana-de-açúcar. Recomenda-se calagem para restabelecer os níveis exigidos pela cultura.

Quanto aos níveis de potássio houve aumento da sua concentração no perfil do solo, o que já era esperado pela grande aporte de nutriente via irrigação por vinhaça, enquanto o fósforo não ocorreu um grande aporte no perfil do solo, porque este nutriente tem baixa concentração via irrigação por vinhaça, necessitando ora de complementação por adubação via fertilizante ou a utilização de torta de filtro no sulco de plantio para cana planta e em cobertura para áreas de soqueiras.

## REFERÊNCIAS

BIANCHI, S. R. **Avaliação química de solos tratados com vinhaça e cultivados com alfafa**. 2008. 108f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2008.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo: I – Fracionamento sequencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n.6, p.935 -944, 2005.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; GERALDI, R. N. **Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. (Boletim Científico, 76).

Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG – Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – **5ª aproximação**. Ribeiro, A C.; Guimarães, P. T.G.; Alvarez, V. H. (Eds). Viçosa, MG, 359 p, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. (Norma Técnica P 4.231). São Paulo, dez. 2006. 12p.

EMBRAPA. Centro Nacional Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FREIRE, W. J.; CORTÊZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.

GLORIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. , SÃO Paulo: COPERSUCAR, 1983. p.5-38. (Boletim Técnico do Planalsucar, 5).

LONGO, R. M. **Efeito da vinhaça *in natura* e biodigerida em propriedades de um solo cultivado com cana-de-açúcar**. 1994. 111f. Dissertação (Mestrado EM ÁGUA E Solo) – Universidade de Campinas, Campinas, 1994.

LOPES, A. S. **Manual de Fertilidade do Solo**. Piracicaba: ANDA/POTAFÓS, 1989. 153p.

MAGALHÃES, V. R. **Influencia de doses de vinhaça nas características agronômicas de variedade de cana de açúcar cana-planta e atributos químicos do solo**. 2010. 89f. Dissertação (Mestrado Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes, Janaúba, 2010.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo:Ultrafertil, 1982. 80p.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. **In:** SEGATO, S. V.; PINTO; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C. M.(Org.) **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p.369-375.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Secretaria de Produção e Agroenergia- Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia. **Evolução da Produtividade e da Produção de Cana-de-açúcar no Brasil por Ano -Safr**a. Disponível em: [http://www.udop.com.br/download/estatistica/area\\_cultivada/16out12\\_area\\_produtividade\\_e\\_brasileira.pdf](http://www.udop.com.br/download/estatistica/area_cultivada/16out12_area_produtividade_e_brasileira.pdf). Acesso em: 22/11/2012.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI. **Seja o doutor do seu canavial**. Piracicaba: POTAFOS, Informações Agronômicas, n.67, Setembro. 1994. 16p. (Arquivo do Agrônomo, 6).

ORLANDO FILHO, J.; MURAOKA, T.; RODELLA, A. A.; ROSSETTO, R. Fontes de potássio na adubação da cana-de-açúcar: KCl e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. **In:** Congresso Nacional da Stab – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 5°. 1993. Águas de São Pedro. Anais. Águas de São Pedro, 1993. p.39-43.

PREVITALI, N. R.. **Uso de vinhaça para fertirrigação**. Araçatuba: Fatec, 2011. 60p.

PREZOTTO, P.. **Biodegradação do carbono orgânico, mineralização do nitrogênio e alterações químicas em solos tratados com vinhaça**. 2009. 54f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico, Campinas, 2009.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e Adubação**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n.4, jul/ago, 2007. 9p.

ROSSETO, R.; MUTTON, M. A. **Workshop Tecnológico sobre vinhaça**. Ribeirão Preto, SP: IAC, 2007. Disponível em: < <http://www.apta.sp.gov.br>. Acesso em: 06/10/2012.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p.291-299, 1998.

SOUSA, D. MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. **In: Fertilidade do solo**. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 205-274.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

ZOTELLI, L. C. **Palha e vinhaça: emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> em solo com cana-de-açúcar**. 2012. 77f. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2012.