

USO AGRÍCOLA DA VINHAÇA PARA PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE MILHO DURANTE TRÊS ANOS DE CULTIVO¹

**SAMUEL FERREIRA DA SILVA²; GIOVANNI DE OLIVEIRA GARCIA³;
EDVALDO FIALHO DOS REIS³ E LEANDRO PIN DALVI⁴**

¹Trabalho extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor, Bolsista da FAPES.

²Doutorando em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo - CCAE-UFES, CEP: 29500-000, Alegre, ES. E-mail: samuelfd.silva@yahoo.com.br.

³Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Rural, CCAE-UFES, Alegre, ES. E-mail: giovanni.garcia@ufes.br; edreis@cca.ufes.br.

⁴Prof. Doutor, Departamento de Fitotecnia, CCAE-UFES, Alegre, ES. E-mail: leandro.dalvi@ufes.br.

1 RESUMO

Objetivou-se com a realização deste trabalho utilizar a vinhaça como fonte de adubação para a produção de forragem de milho (*Zea mays* L.) com aplicação anual durante três anos de cultivo na região Sul do município de Alegre, Espírito Santo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, com parcelas experimentais medindo 2,20 x 3,60 m. Os tratamentos avaliados foram definidos como adubação mineral (NPK) correspondendo a testemunha e cinco doses de vinhaça, equivalendo a 50, 100, 150, 200 e 250 m³ ha⁻¹ de vinhaça. As características agrônomicas avaliadas na cultura do milho foram: altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e produção de forragem e silagem. Nos resultados, observou-se que a vinhaça utilizada proporcionou uma produtividade de forragem na dose correspondente a 100 m³ ha⁻¹ significativamente idêntica à obtida com a adubação mineral para os três anos de cultivo. Já as doses equivalentes a 50 m³ ha⁻¹ e acima de 100 m³ ha⁻¹, condicionaram um efeito deletério no desenvolvimento vegetativo da cultura com uma produção inferior à obtida com a adubação mineral.

Palavras-chave: Uso de efluente. Reciclagem de nutrientes. Milho híbrido.

SILVA, S. F.; GARCIA, G. O.; REIS, E. F.; DALVI, L. P.
**AGRICULTURAL USE OF VINASSE FOR CORN FODDERS FOR THREE YEARS
OF CULTIVATION**

2 ABSTRACT

The objective with this work was to use vinasse as a source of fertilizer for the production of corn forage (*Zea mays* L.), for three years of cultivation in the southern city of Alegre, Espírito Santo. The experimental design was randomized in blocks with six treatments and four replications, with plots measuring 2.20 x 3.60 m. The treatments were defined as mineral fertilizers (NPK) corresponding to witnessing five vinasse doses, equivalent to 50, 100, 150, 200 and 250 m³ ha⁻¹ vinasse. The agronomic traits in the maize were: plant height, stem diameter, number of leaves, fresh weight of shoot, shoot dry mass, forage production and

silage production. In the results, one could observe that the vinasse used provided a forage yield in doses of $100\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ statistically identical to the mineral fertilizer with three years of cultivation. On the other hand, doses equivalent to $50\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ and above $100\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ conditioned a deleterious effect on the vegetative development of the crop with a production of fewer mineral fertilizers.

Keywords: Use of effluent. Nutrient recycling. Hybrid corn.

3 INTRODUÇÃO

A cultura do milho no Brasil segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária na safra 2014/2015 foi cultivada em 15,22 milhões de hectares. Sendo o principal destino da safra a alimentação humana e animal, bem como no uso industrial, constituindo a base para diferentes produtos nas indústrias química, farmacêutica, têxtil, automobilística, entre outras, além disso, participa com mais de 60% da composição de rações destinadas a avicultura e suinocultura (EMBRAPA, 2006; CARVALHO et al., 2014; CONAB, 2016).

Para se alcançar índices satisfatórios de produtividade, entre os manejos adotados, têm-se uma atenção especial para o fornecimento da adubação, pois a cultura do milho demanda de grande disponibilidade de nutrientes, principalmente o potássio e fósforo, por serem mais abundantes em seu tecido vegetal (PAVINATO et al., 2008; COSTA et al., 2012). Entretanto, deve-se estudar o uso dessa adubação nos cultivos agrícolas, pois a definição das doses a serem aplicadas é fator limitante para garantir o sucesso da atividade e deve ser definida com base nas diretrizes técnicas fundamentadas nas exigências nutricionais de cada cultura produzida (GIACHINI; FERRAZ, 2009).

Uma alternativa para o fornecimento desses nutrientes às culturas é a utilização de resíduos oriundos das etapas de produção do setor sucroalcooleiro, que geram efluentes com potencial de uso agrícola, destacando-se a vinhaça, resíduo líquido com odor forte, coloração marrom-escuro, baixo pH, alto teor de potássio e com alta carga de matéria orgânica, saindo das bicas de destilação a temperatura de aproximadamente 107°C , possuindo poder poluidor cerca de cem vezes maior que o esgoto doméstico (FREIRE; CORTEZ, 2000; MAPA, 2007; SILVA; BONO; PEREIRA, 2014).

A vinhaça aplicada como fonte de potássio para o cultivo do milho na Região Noroeste do Rio Grande do Sul, proporcionou um aumento na produtividade de grãos do milho safrinha em 26% quando comparado ao cultivo convencional com a adubação mineral (BASSO et al., 2013). Em um estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo, comparando áreas de 1 a 20 anos com aplicação anual de vinhaça a uma área sem aplicação, foi observado um maior teor de potássio nas áreas que receberam a vinhaça (PAULINO et al., 2011), por apresentar-se predominantemente na forma iônica K^+ , com isso sua disponibilidade ao solo é muito rápida e ocorre logo após sua aplicação.

Com isso, o uso agrícola da vinhaça como fonte principal ou complementar de adubação pode apresentar incrementos na produtividade da cultura do milho, sem a utilização de adubação mineral, sendo uma alternativa para aumentar a renda dos produtores e destinar de forma adequada um efluente com potencial poluidor (OLIVEIRA et al., 2014). Entretanto, o uso de efluente na agricultura deve ser estudado a fim de definir as doses adequadas a serem aplicadas nos cultivos a curto, médio e longo prazo, monitorando os índices de produção em cultivos sucessivos da cultura na mesma área.

Desta forma, objetivou-se utilizar a vinhaça como fonte de adubação para a produção de forragem de milho (*Zea mays* L.) com aplicação anual durante três anos de cultivo na região Sul do município de Alegre, Espírito Santo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em condições de campo durante os anos agrícolas de 2013, 2014 e 2015, em uma propriedade rural na comunidade Jerusalém, no município de Alegre, ES, situada sob as coordenadas geográficas de longitude 41°32'58" W e latitude 20°47'11" S. Segundo a classificação internacional de Köppen o clima predominante na região é do tipo Cwa, caracterizado por inverno seco e verão chuvoso.

Foram realizados três cultivos do milho híbrido AG 1051, com intuito de colheita da forragem. Para isso, foram semeadas três sementes por cova e após a germinação foi realizado o desbaste, deixando uma única planta por cova. A colheita foi realizada em torno de 120 dias após a germinação, quando a cultura apresentou sua máxima produção vegetativa, sendo realizada de forma manual.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, com parcelas experimentais medindo 2,20 x 3,60 m (7,92 m²). Cada parcela experimental foi composta por 44 plantas cultivadas num espaçamento de 0,20 m entre covas e 0,90 m entre linhas, com 10 plantas úteis (avaliadas) e 34 plantas de bordaduras (não avaliadas).

Antecedendo a instalação do experimento, realizou-se uma amostragem do solo na camada de 0-10 cm de profundidade, para sua caracterização, sendo o solo na área de estudo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (EMBRAPA, 2013), apresentando as seguintes características químicas e físicas (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas do solo na profundidade de 0 a 10 cm, em amostra composta coletada antes da instalação do experimento.

Propriedades químicas ¹	Valores
pH (potencial hidrogeniônico)	5,00
Fósforo (mg dm ⁻³)	3,17
Potássio (mg dm ⁻³)	57,00
Sódio (mg dm ⁻³)	5,78
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,43
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,58
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,32
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	3,35
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,18
t (cmol _c dm ⁻³)	1,50
T (cmol _c dm ⁻³)	4,53
V (%)	26,04
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	5,12
Propriedades físicas ²	Valores
Areia (%)	53,00
Silte (%)	5,00
Argila (%)	42,00

H + Al: hidrogênio + alumínio. SB: soma de bases trocáveis. t: capacidade de troca catiônica efetiva. T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0. V: índice de saturação em bases. ¹Metodologia (EMBRAPA, 2009).

²Metodologia (ALMEIDA et al., 2012).

Antes do início de cada cultivo e após a colheita em cada um dos três anos de estudo, foram coletadas dentro de cada parcela experimental amostras de solo, com auxílio de um trado para coleta de solo. Estas amostragens, foram realizadas com o intuito de verificar as possíveis alterações químicas do solo provenientes do uso da vinhaça.

Os tratamentos avaliados foram definidos como adubação mineral (NPK), correspondendo a testemunha e cinco doses de vinhaça, equivalendo a 50, 100, 150, 200 e 250 m³ ha⁻¹ de vinhaça, representando uma lâmina de 5, 10, 15, 20 e 25 mm por m², respectivamente. A adubação mineral foi baseada no Manual de Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007).

A vinhaça foi aplicada manualmente com auxílio de um regador com saída tipo chuveiro controlando para que não ocorresse o escoamento superficial. O fornecimento foi realizado em uma única aplicação, quando a cultura apresentou de 3 a 5 folhas, neste momento, também foi realizada a adubação de cobertura mineral (NPK) para as parcelas correspondentes a testemunha.

A vinhaça utilizada no experimento foi coletada em um alambique próximo de onde foram realizados os experimentos e para caracterização química uma amostra de 800 mL foi coletada e encaminhada ao laboratório, onde foram determinados os parâmetros descritos na Tabela 2. Esse procedimento foi realizado para os três anos de cultivo.

Tabela 2. Caracterização química da vinhaça utilizada durante os três anos de experimentos.

Característica	Valor		
	2013	2014	2015
pH (potencial hidrogeniônico)	3,57	3,05	3,19
Nitrogênio (mg L ⁻¹)	250,00	326,00	288,00
Fósforo (mg L ⁻¹)	1.512,00	1.943,00	2.024,00
Potássio (mg L ⁻¹)	3.218,00	2.981,00	2.743,00
Cálcio (mg L ⁻¹)	70,00	54,00	62,00
Magnésio (mg L ⁻¹)	93,00	71,00	64,00
Enxofre (mg L ⁻¹)	220,00	162,00	139,00
Ferro (mg L ⁻¹)	15,00	37,00	48,00
Zinco (mg L ⁻¹)	2,00	6,00	14,00
Cobre (mg L ⁻¹)	7,00	12,00	27,00
Manganês (mg L ⁻¹)	4,00	8,00	9,00
Boro (mg L ⁻¹)	1,00	2,00	5,00
Sódio (mg L ⁻¹)	340,00	286,00	300,00
Alumínio (mg L ⁻¹)	1,00	1,00	3,00
Matéria orgânica total (mg L ⁻¹)	5.660,00	4.430,00	5.090,00

As características agrônômicas avaliadas na cultura do milho foram: altura de planta (m), diâmetro do caule (mm), número de folhas (adimensional), massa fresca e seca da parte aérea (gramas) e produção de forragem e silagem (t ha⁻¹).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância decompondo-se o efeito da adubação mineral e das doses de vinhaça nas características agrônômicas avaliadas na cultura do milho e quando significativa para as variáveis analisadas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5,0%. Para as doses de vinhaça, procedeu-se com a análise de regressão, ajustando-se ao grau significativo da equação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos três anos de estudo, a variável altura de planta não diferiu estatisticamente da adubação mineral para as doses de vinhaça correspondentes a 100, 150, 200 e 250 m³ ha⁻¹, demonstrando que a vinhaça atendeu as exigências nutricionais da cultura do milho quanto ao seu desenvolvimento em altura, em contrapartida a dose de vinhaça correspondente a 50 m³ ha⁻¹ condicionou um desenvolvimento em altura significativamente inferior a testemunha e demais doses de vinhaça fornecidas (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios da altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) para a cultura do milho na época da colheita em função da aplicação da adubação mineral (NPK) e vinhaça (m³ ha⁻¹) para cada ano.

TRAT	2013				
	AP (m)	DC (mm)	NF	MFPA (g)	MSPA (g)
NPK	2,77a	26,52a	20,75a	898,50b	282,00b
50 m ³ ha ⁻¹	2,46b	23,77b	17,25b	619,50d	189,75e
100 m ³ ha ⁻¹	2,75a	26,70a	21,50a	992,25a	302,75a
150 m ³ ha ⁻¹	2,77a	24,60b	19,25a	816,50c	250,50c
200 m ³ ha ⁻¹	2,85a	19,47c	18,00b	640,00d	215,50d
250 m ³ ha ⁻¹	2,89a	18,95c	15,75c	513,50e	171,50e
CV (%)	4,78	3,56	2,19	12,90	8,90
TRAT	2014				
	AP (m)	DC (mm)	NF	MFPA (g)	MSPA (g)
NPK	2,86a	26,12a	21,75a	992,75a	331,00b
50 m ³ ha ⁻¹	2,55b	23,37b	19,25b	554,50d	160,00f
100 m ³ ha ⁻¹	2,84a	26,30a	22,50a	1.019,00a	409,50a
150 m ³ ha ⁻¹	2,86a	25,30b	20,25a	823,75b	246,25c
200 m ³ ha ⁻¹	2,94a	20,25c	19,50b	605,50c	213,00d
250 m ³ ha ⁻¹	2,95a	19,67c	17,75c	533,75d	193,25e
CV (%)	6,16	5,87	2,99	8,88	4,87
TRAT	2015				
	AP (m)	DC (mm)	NF	MFPA (g)	MSPA (g)
NPK	3,01a	27,22a	22,75a	947,00a	241,75b
50 m ³ ha ⁻¹	2,72b	21,47b	19,25b	698,25c	191,75c
100 m ³ ha ⁻¹	3,07a	28,40a	23,75a	943,25a	276,50a
150 m ³ ha ⁻¹	3,07a	28,40a	21,25a	842,75b	270,00a
200 m ³ ha ⁻¹	3,10a	21,35b	21,00a	696,25c	229,00b
250 m ³ ha ⁻¹	3,13a	20,77c	18,75b	529,50d	191,00c
CV (%)	5,22	5,00	2,54	9,16	5,12

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5,0% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Entretanto, quando observada a variável diâmetro do caule apenas a dose de vinhaça equivalente a 100 m³ ha⁻¹ possibilitou um desenvolvimento significativamente idêntico a testemunha para os anos de 2013 e 2014. No ano de 2015, as doses correspondentes a 100 e 150 m³ ha⁻¹, possibilitaram alcançar um desenvolvimento significativamente idêntico a

testemunha. Para as demais doses de vinhaça fornecidas, o desenvolvimento em diâmetro da cultura foi inferior nos três anos de estudo. Desta forma, não houve uma correlação direta entre o crescimento em altura e o crescimento em diâmetro da cultura em estudo.

Estes resultados, podem ser associados ao aumento de íons na solução do solo, ocasionado um desequilíbrio nutricional em virtude da significativa alteração nos processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta, ocasionando um rápido crescimento em altura da cultura, não permitindo que ocorresse um crescimento em diâmetro de forma proporcional (TAIZ; ZEIGER, 2013; PEDROTTI et al., 2015).

Para a variável número de folhas, nos dois primeiros anos de cultivo as doses de vinhaça correspondentes a 100 e 150 m³ ha⁻¹ proporcionaram um crescimento significativamente idêntico ao obtido com a adubação mineral, tida como a testemunha, e para o terceiro ano de cultivo as doses de vinhaça equivalentes a 100, 150 e 200 m³ ha⁻¹, não apresentaram diferenças significativas dos resultados obtidos com a adubação mineral, por outro lado, as demais doses aplicadas condicionaram uma produtividade inferior a adubação mineral. Esta produtividade de folhas, associadas a um maior desenvolvimento em altura e diâmetro de caule refletem em maior aporte vegetativo das plantas, possibilitando um melhor rendimento de massa fresca (PAZIANI et al., 2009).

Em relação a massa fresca da parte aérea, no ano de 2013 a dose de vinhaça correspondente a 100 m³ ha⁻¹ condicionou um desenvolvimento superior ao obtido com a adubação mineral e demais doses aplicadas. Nos anos de 2014 e 2015, não houve diferença estatística em relação a adubação mineral e a dose correspondente a 100 m³ ha⁻¹ de vinhaça. Em contrapartida, as demais doses de vinhaça fornecidas condicionaram uma produção de massa fresca significativamente inferior a adubação mineral, para os três anos de cultivo.

Neste sentido, Alvarez, Pinho e Borges (2006) destacam que o milho (*Zea mays* L.) é muito utilizado como volumoso para alimentação de animais devido a seu potencial produtivo de massa fresca, o que corresponde a uma maior produção de massa seca, conseqüentemente, maior produção de silagem, neste caso, observa-se no presente estudo uma correlação positiva entre o peso da massa fresca e seca, sendo produzido cerca de 30% de massa seca em relação a massa fresca, tanto para a adubação mineral, quanto para as diferentes doses de vinhaça fornecidas.

Esta proporção na produção de silagem em relação a produção de forragem é considerada adequada e foi obtida por outros pesquisadores, utilizando tanto adubação mineral quanto adubação orgânica para a produção de forragem e silagem de diferentes genótipos de milho (PAZIANI et al., 2009; SOUZA; GUIMARÃES, 2013).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária unidade Milho e Sorgo considera uma produção por hectare em torno de 50 t ha⁻¹ satisfatória para a densidade utilizada no presente estudo que foi de 55.555 plantas por hectare (CRUZ; PEREIRA FILHO; GONTIJO NETO, 2012).

Neste sentido, observa-se na Tabela 3 que nos três anos de cultivo a dose de vinhaça correspondente a 100 m³ ha⁻¹ possibilitou uma produção de forragem superior a 50 t ha⁻¹, com máxima produção de 56,61 t ha⁻¹ para o ano de 2014. A adubação mineral também permitiu uma produção de forragem próxima a recomendação no ano de 2013 e superior nos anos seguintes, por outro lado, as demais doses de vinhaça condicionaram uma produção significativamente inferior a adubação mineral com produtividade abaixo da recomendação, apesar da dose de vinhaça equivalente a 150 m³ ha⁻¹ ter propiciado uma produção de forragem próxima a recomendação da Embrapa, sendo acima de 45 t ha⁻¹ para os três anos de cultivo.

Tabela 4. Valores médios da produção de forragem (PF) e produção de silagem (PS) por hectare para a cultura do milho em função da aplicação da adubação mineral (NPK) e vinhaça ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para cada ano.

TRAT	2013		2014		2015	
	PF (t ha^{-1})	PS (t ha^{-1})	PF (t ha^{-1})	PS (t ha^{-1})	PF (t ha^{-1})	PS (t ha^{-1})
NPK	49,91b	15,66b	55,15a	18,38b	52,61a	13,43b
50 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	34,41d	10,54e	30,80d	8,88f	38,79c	10,65c
100 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	55,12a	16,81a	56,61a	22,74a	52,40a	15,36a
150 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	45,36c	13,91c	45,76b	13,68c	46,81b	14,99a
200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	35,55d	11,97d	33,63c	11,83d	38,68c	12,72b
250 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	28,52e	9,52e	29,65d	10,73e	29,41d	10,61c
CV (%)	8,90	11,21	9,87	8,91	7,23	9,18

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5,0% de probabilidade.

OBS: Densidade de 55.555 plantas por hectare.

Para a produção de silagem proveniente da quantidade de massa seca disponível, o índice de produtividade de massa fresca é fator limitante, pois uma baixa produção de massa fresca refletirá em baixa produção de massa seca, por conseguinte, uma menor produção de silagem (ALVAREZ; PINHO; BORGES, 2006), sendo a produção de silagem na dose de vinhaça correspondente a 100 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ superior à obtida com a adubação mineral para os anos de 2013 e 2014 e no ano de 2015 as doses equivalentes a 100 e 150 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ permitiram uma produção de silagem superior à produção oriunda das parcelas com adubação mineral e demais doses de vinhaça fornecidas para os três anos.

Existe uma correlação positiva entre a produção de forragem e a produção de silagem, ou seja, quanto maior a produção de forragem (massa fresca) maior será a produtividade de silagem (massa seca).

Resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo, foram encontrados por Basso et al. (2013), utilizando a vinhaça como fonte de potássio para cultivo em sucessão de aveia-preta e milho e por Silva et al. (2013), estudando a aplicação de diferentes doses de vinhaça no desenvolvimento vegetativo de pastagens, obtendo incrementos na produção de forragem com o aumento no fornecimento de vinhaça até as doses correspondentes a 100 e 120 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, observando também uma correlação positiva entre a produção de forragem e silagem.

A vinhaça, condicionou uma elevação do pH do solo e diminuiu o potencial redox (reações de redução), devido a formação da amônia que reage com os prótons (H^+) do solo, tornando o solo mais alcalino, este fenômeno é justificado pelo fato da vinhaça reduzir a acidez do solo, devido a decomposição da matéria orgânica, ocorrendo uma maior disponibilidade de nutrientes, entre eles, o potássio, cálcio e magnésio, além de aumentar a atividade microbológica do solo (LEAL et al., 1983; SILVA et al., 2014). De forma geral, essas características contribuem de maneira positiva para os cultivos agrícolas.

Para os três anos de estudo, a aplicação da vinhaça condicionou um acúmulo de potássio, cálcio, magnésio e fósforo superior ao obtido com a adubação mineral. Sendo observada, uma correlação direta entre o aumento nas doses de vinhaça e os teores desses nutrientes no solo. Pode-se dizer, que as doses maiores de efluentes aplicadas ao solo proporcionam um acúmulo de nutrientes, implicando na saturação do solo e ocasionando uma elevada umidade nas camadas mais superficiais (TAEBI; DROSTE, 2008).

Entretanto, para os teores de sódio, também houve um incremento na concentração com o aumento no fornecimento da vinhaça, sendo observada uma correlação direta entre as

doses de vinhaça fornecidas e a concentração de sódio no solo. Este cátion, quando em excesso pode trazer prejuízos ao solo pela ação direta na sodificação e às plantas cultivadas pelo efeito tóxico. Efluentes com alta proporção de sódio em relação ao cálcio e magnésio podem resultar em solo sódico, pois o sódio desloca o cálcio e o magnésio adsorvidos causando a dispersão dos colóides (AYERS; WESTCOT, 1999; ARRAES et al., 2009).

Estes resultados, podem justificar o fato das doses acima de 100 m³ ha⁻¹ de vinhaça terem condicionado uma redução nos índices de produtividade da forragem e silagem (Tabela 4). Pois, com o aumento da concentração de sódio na solução do solo, a absorção de cátions essenciais para o desenvolvimento da cultura, como o potássio, cálcio e magnésio, pode ser inibida, devido à relação competitiva entre esses cátions por uma vaga no complexo de troca do solo (BONINI et al., 2014).

Desta forma, se utilizada em dosagens adequadas a vinhaça torna-se um subproduto de interesse agrônômico, apresentando possibilidades reais de uso em cultivos agrícolas, constituindo uma alternativa de inserção de matéria orgânica e nutrientes ao solo, promovendo a reciclagem de nutrientes e ganhos nos índices de produtividade da cultura instalada.

6 CONCLUSÕES

A vinhaça como fonte de adubação para a produção de forragem e silagem de milho apresentou potencial para substituir a adubação mineral na dose correspondente a 100 m³ ha⁻¹, possibilitando alcançar uma produtividade significativamente idêntica à obtida com a adubação mineral para os três anos de cultivo. Já as doses equivalentes a 50 m³ ha⁻¹ e acima de 100 m³ ha⁻¹, condicionaram um efeito deletério no desenvolvimento vegetativo da cultura, com uma produção significativamente inferior a obtida com a adubação mineral.

Se realizada com critérios técnicos, os benefícios desta atividade não implicam somente na melhoria da produção, mas certamente na melhoria da eficiência de utilização de um efluente com potencial poluidor.

7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. G.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 2012. 11 p. (Comunicado técnico, 66).

ALVAREZ, C. G. D.; PINHO, R. G. V.; BORGES, I. D. Avaliação de características agrônômicas e de produção de forragem e grãos de milho em densidades de semeadura e

espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 402-408, 2006.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; FROTA JUNIOR, J. I.; SANTOS, J. C. N. Identificação dos íons determinantes da condutividade elétrica nas águas superficiais da Bacia do Curu, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 346-355, 2009.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1999. 218 p.

BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; LAMEGO, F. P.; SOMAVILLAI, L.; BRIGO, T. J. Vinhaça como fonte de potássio: resposta da sucessão aveia-preta/milho silagem/milho safrinha e alterações químicas do solo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 596-602, 2013.

BONINI, M. A.; SATO, L. M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 20, n. 1, p. 56-63, 2014.

CARVALHO, A. V.; BRANDÃO, J. S.; BRANDÃO, P. A.; SOUZA, B. B.; FERREIRA, D. H.; SILVA, D. R. P.; BATISTA, N. L. Farelo de palma forrageira na fase final de criação, sobre o desempenho de codornas de corte criadas no semiárido. **Revista Científica de Produção Animal**, Paraíba, v. 14, n. 2, p. 177-180, 2014.

CONAB. Campanha Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab. 2016. 109 p.

COSTA, M. S.; COSTA, Z. V. B.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; MARINHO, M. J. C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 2-26, 2012.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M. **Milho para silagem**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012.

Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnk02wx5ok0pvo4k3j537ooi.html>>. Acesso em: 01 ago. 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Circular Técnica, 75. 2006. 6 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª edição. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

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

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**, Garça, v. 3, p. 1-15, 2009.

LEAL, J. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; ROSSIELO, R. O. P. Potencial redox e pH: variação em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 257-261, 1983.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanco da Cana-de-Açúcar e Agroenergia Nacional**. MAPA/SPAEE, Brasília, 2007. 140 p.

OLIVEIRA, W. S.; BRITO, M. E. B.; ALVES, R. A. B.; SOUZA, A. S.; SILVA, E. G. Cultivo da cana-de-açúcar sob fertirrigação com vinhaça e adubação mineral. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 9, n. 1, p. 01-05, 2014.

PAULINO, J.; ZOLIN, C. A.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça em longo do tempo. II. Características da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 244-249, 2011.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008.

PAZIANI, F. S.; DUARTE, A. P.; NUSSIO, L. G.; BOLLER, P.; GALLO, C. M. M. B.; ZOPOLLATTO, M.; RECO, P. C. Características agrônomicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 411-417, 2009.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PREZOTTI, L. C., GOMES, J. A., DADALTO, G. G., OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.

SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. A. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 38-43, 2014.

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**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 233-346, 2013.

SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1796-1805, 2013.

TAEBI, A.; DROSTE, R. L. Performance of an overland flow system for advanced treatment of wastewater plant effluent. **Journal of Environmental Management**, Nova Iorque, v. 88, p. 688-696, 2008.

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