



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS

**INFLUÊNCIA DE DOSES DE VINHAÇA NAS  
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DE  
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, CANA-  
PLANTA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

**VIRGÍNIA RIBEIRO MAGALHÃES**

**2010**

**VIRGÍNIA RIBEIRO MAGALHÃES**

**INFLUÊNCIA DE DOSES DE VINHAÇA NAS CARACTERÍSTICAS  
AGRONÔMICAS DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, CANA-  
PLANTA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**Orientador**  
**Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo**

**JANAÚBA**  
**MINAS GERAIS – BRASIL**  
**2010**

M188i Magalhães, Virgínia Ribeiro.  
Influências de doses de vinhaça nas características agronômicas de variedades de cana-de-açúcar, cana-planta e atributos químicos do solo [manuscrito] / Virgínia Ribeiro Magalhães. – 2010.  
89 p.

Dissertação (mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros-Unimontes, 2010.  
Orientador: Prof<sup>o</sup>. D.Sc. Marcos Koiti Kondo.

1. Cana-de-açúcar. 2. Vinhaça. I. Kondo, Marcos Koiti. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.61

Catálogo: Biblioteca Setorial Campus de Janaúba



**VIRGÍNIA RIBEIRO MAGALHÃES**

**INFLUÊNCIA DE DOSES DE VINHAÇA NAS CARACTERÍSTICAS  
AGRONÔMICAS DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, CANA-  
PLANTA, E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**Aprovada em 28 de Janeiro de 2010.**

**Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo  
(Orientador - UNIMONTES)**

**Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro  
(Coorientador - UNIMONTES)**

**Dr. Alex Teixeira Andrade  
Pesquisador Epamig (URENM)**

**Prof. Dr. Iran Dias Borges  
UNIMONTES**

**Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis  
UNIMONTES**

**JANAÚBA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2010**

A minha família, pelo  
Amor, carinho e cumplicidade em todos os momentos, auxiliando-me  
e dando-me forças durante toda a realização deste trabalho.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade da vida e por me proporcionar mais esta vitória.

Ao apoio incondicional de toda minha família.

Ao Professor Orientador, Marcos Koiti Kondo, pela valiosa orientação e ensinamentos.

Ao Professor Luiz Henrique Arimura, pela colaboração e aconselhamento. Ao Professor Rodinei Facco Pegoraro, pela coorientação.

À CAPES, pelo apoio financeiro que contribuiu para o bom aproveitamento do curso.

Ao Professor Sidnei Tavares dos Reis, pela paciência, apoio e orientação estatística.

Aos professores DSc.. Adelica Aparecida Xavier, DSc.. Maria Aparecida Vilela de Rezende Farias, DSc.. Iran Dias Borges, DSc. Marcos Koiti Kondo, Dsc. Rodinei Facco Pegoraro, Dsc. Luiz Henrique Arimura, DSc.. Wagner Ferreira da Mota, que contribuíram para o meu aprendizado.

Aos funcionários da Fazenda Experimental da UNIMONTES, Klevisson José da Silva, Valmir da Silva Medeiros, Messias e, em especial, ao Fábio Aparecido José Vicente, pelo apoio na condução e coletas dos dados experimentais.

Aos acadêmicos Raquel Sobral, Silvia Walker, Márcia, Renata Batista, Carolina Ferreira, Heverton Fernando, pela grande ajuda na coleta dos dados.

Aos amigos conquistados ao longo desta jornada: Suerlani, Irani, Lahyre, Fernanda, Jader, Lígia, Silvana, Rosy dentre outros.

Aos amigos do curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Shirley Janaine, Ana Maria, Alda Regina, Lucivânia, Edson Marcos, Carlos Alberto, Fábila, Rodrigo, Hugo. Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse sonho, meu eterno agradecimento.



## SUMÁRIO

	<b>Páginas</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	i
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	iii
<b>RESUMO</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	3
<b>2.1.</b> Botânica e ecofisiologia da cana-de-açúcar .....	3
<b>2.2.</b> Aspectos econômicos .....	4
<b>2.3.</b> Nutrição da cana-de-açúcar .....	5
<b>2.4.</b> Caracterização da vinhaça .....	8
<b>2.5.</b> Uso da vinhaça como fonte de nutrientes .....	9
<b>2.6.</b> Atributos químicos do solo e sua importância .....	11
<b>2.7.</b> Efeitos da vinhaça nos atributos químicos do solo .....	13
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	14
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	20
<b>4.1</b> Variáveis Agronômicas .....	20
<b>4.2</b> Variáveis Químicas .....	35
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	60
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	61



## TABELAS

	<b>Páginas</b>
<b>01</b> Característica química da vinhaça .....	<b>15</b>
<b>02</b> Características agronômicas das variedades utilizadas no projeto.	<b>15</b>
<b>03</b> Resultado da análise química do solo da área experimental, realizada em novembro de 2007. UNIMONTES. Janaúba – MG, 2010.....	<b>16</b>
<b>04</b> Valores de altura de planta, em metros, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>20</b>
<b>05</b> Valores de Comprimento de colmo, em metros, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>23</b>
<b>06</b> Valores de Diâmetro de colmo, em centímetro, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>25</b>
<b>07</b> Valores de Densidade de colmos, em unidades, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>27</b>
<b>08</b> Valores de Índice de Maturação, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>30</b>
<b>09</b> Valores de Produtividade, em toneladas por hectare, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>32</b>
<b>10</b> Valores de pH em água, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>35</b>
<b>11</b> Valores de Cálcio e Magnésio, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>38</b>

<b>12</b>	Valores de Fósforo disponível, $\text{mg dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.	<b>41</b>
<b>13</b>	Valores de Potássio disponível, $\text{mg dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>43</b>
<b>14</b>	Valores de Soma de Bases, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>46</b>
<b>15</b>	Valores de Capacidade de troca de cátions (CTC potencial), $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>48</b>
<b>16</b>	Valores de Saturação por Bases, em porcentagem, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>49</b>
<b>17</b>	Valores de Capacidade efetiva de troca de cátions (t), em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>51</b>
<b>18</b>	Valores de Saturação por Alumínio, em porcentagem, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>52</b>
<b>19</b>	Valores de Acidez Potencial, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>54</b>
<b>20</b>	Valores de Acidez Trocável, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>56</b>
<b>21</b>	Valores de Carbono Orgânico, em $\text{dag kg}^{-1}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>58</b>

## GRÁFICOS

	<b>Páginas</b>
<b>01</b> Valores de altura de planta, em metros, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>21</b>
<b>02</b> Valores de Comprimento de colmo, em metros, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>24</b>
<b>03</b> Valores de Diâmetro de colmo, em centímetro, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>26</b>
<b>04</b> Valores de Densidade de colmos, em unidades, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>28</b>
<b>05</b> Valores de Índice de Maturação, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>31</b>
<b>06</b> Valores de Produtividade, em toneladas por hectare, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.....	<b>33</b>
<b>07</b> Teores de pH em água no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>37</b>
<b>08</b> Concentração de cálcio no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>39</b>
<b>09</b> Concentração de magnésio no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>40</b>
<b>10</b> Concentração de Fósforo no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>42</b>
<b>11</b> Concentração de Potássio no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>45</b>
<b>12</b> Concentração de Soma de Bases, em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>47</b>
<b>13</b> Concentração de Capacidade de troca de cátions a pH 7, em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>48</b>

<b>14</b>	Concentração Saturação por Bases, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>50</b>
<b>15</b>	Concentração de Capacidade efetiva de troca de cátions, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>51</b>
<b>16</b>	Concentração Saturação por alumínio, em % no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>53</b>
<b>17</b>	Teores de Acidez potencial, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>55</b>
<b>18</b>	Teores de Acidez trocável, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>57</b>
<b>19</b>	Concentração de Carbono orgânico, em $\text{dag kg}^{-1}$ no solo LVE em função de doses de vinhaça.....	<b>59</b>

## RESUMO

MAGALHÃES, Virgínia Ribeiro. **Influência de doses de vinhaça nas características agronômicas de variedades de cana-de-açúcar, cana-planta, e atributos químicos do solo.** 2010. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.<sup>1</sup>

A vinhaça é um dos principais resíduos da fabricação do álcool e da aguardente, apresentando elevadas concentrações de potássio e matéria orgânica, sendo gerada numa proporção de 10 a 15 litros para cada litro de álcool produzido, e 5 e 6 litros, no caso da produção de aguardente. A prática de fertirrigação com vinhaça requer cuidados devido à possibilidade de ocorrerem alterações químicas no solo. Neste trabalho teve-se como objetivo avaliar o desempenho de variedades de cana-de-açúcar e os atributos químicos do solo cultivado com irrigação suplementar e fertilizadas com vinhaça. O ensaio foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros, em Janaúba - MG com delineamento em blocos ao acaso. Os tratamentos constituíram-se de 4 doses de vinhaça: T1 = 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, T2 = 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, T3 = 240 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, T4 = 420 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, T5 = testemunha adubação química, e 4 repetições por tratamento. Para o presente trabalho foram utilizados dados referentes a cana-planta sendo avaliadas: altura de planta (m), comprimento de colmo (m), diâmetro (cm), densidade de colmos (n.º m<sup>-1</sup>); peso de colmo (t ha<sup>-1</sup>), teor de sólidos solúveis totais (°Brix); pH em água; Potássio disponível, Fósforo disponível, Magnésio trocável; Cálcio trocável, Capacidade efetiva de troca de cátions (t), Capacidade de troca de cátions a pH7 (T), Saturação por alumínio, saturação por bases, soma de bases, Acidez trocável, Acidez potencial; Carbono orgânico. Os dados foram submetidos ao teste de Dunnett e para comparação das diferentes doses de vinhaça foi realizada a análise de regressão. Concluiu-se que variedade RB85-5453 obteve a melhor produtividade para a região estudada. A adubação com vinhaça na dose de 240 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> proporcionou a maior produtividade para ambas as variedades. Houve alteração no conteúdo de carbono orgânico com a aplicação das doses de vinhaça. A concentração de potássio, cálcio e magnésio trocáveis aumentou com as doses de vinhaça aplicadas. Com base nos valores obtidos de concentração de potássio trocável com aplicação de vinhaça no solo, recomenda-se reavaliação da legislação ambiental vigente, relativa ao assunto, tendo em vista que existe grande risco para a qualidade do solo e das águas

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Prof. Marcos Koiti Kondo – DCA/UNIMONTES (orientador); Prof. Rodinei Facco Pegoraro – DCA/UNIMONTES (co-orientador).

subterrâneas caso os valores limites estabelecidos na DN COPAM n.º 012/86  
continuem a ser praticados nas doses de vinhaça aplicadas.



## ABSTRACT

MAGALHÃES, Virgínia Ribeiro. **Influence of vinasse doses on the agronomic characteristics of sugarcane varieties, cane plant and soil chemical properties.** 2010 Dissertation (Master's degree in Plant Production) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba – MG.<sup>2</sup>

The vinasse is one of the main residues from product of alcohol and sugarcane spirit beverage, with high concentrations of potassium and organic matter, being generated at a rate 10-15 liters for every liter of alcohol produced, and 5 and 6 liters, in the case of production of sugarcane spirit. The practice of fertirrigation with vinasse requires care due to possibility of occurring chemical changes in the soil. This work aimed to evaluate the performance of varieties of sugarcane and chemical attributes of soils under supplementary irrigation and fertilized with vinasse. The essay was carried out at the Experimental Farm of Universidade Estadual de Montes Claros, in Janaúba, Minas Gerais State, Brazil, with design in randomized block. The treatments consisted of 4 doses of vinasse: T1 = 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, T2 = 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, T3 = 240 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, T4 = 420 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, T5 = control chemical fertilizer, and four replications per treatment. For this work were used data on cane plant being evaluated: plant height (m) length of stem (m), diameter (cm), stem density (n<sup>o</sup>. m<sup>-1</sup>), stem weight (t ha<sup>-1</sup>), soluble solids content (°Brix), pH in water, available potassium, available phosphorus, exchangeable magnesium, exchangeable calcium, Effective Cation Exchange Capacity (t), Cation Exchange Capacity at pH 7,0 (T), aluminum saturation, base saturation, total bases, exchangeable acidity, potential acidity, organic carbon. The data were subjected to Dunnett's test and to compare different doses of vinasse was performed regression analysis. It is possible to conclude that variety RB85-5453 showed the best productivity for the studied region. Vinasse Fertilization at dose of 240 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> provided the greatest productivity for both varieties. There were changes in organic carbon content with the application of vinasse doses. The concentration of exchangeable potassium, calcium and magnesium increased with doses of vinasse applied. Based on the values of exchangeable potassium concentration with vinasse application on the soil, it is recommended reassessment of environmental legislation, relative to the subject, since there is great risk to the quality of soil and groundwater if limit values established in DN COPAM No 012/86 continue to be practiced in the applied vinasse rates.

---

<sup>2</sup> Advisors committee: Prof. Marcos Koiti Kondo – DCA/UNIMONTES (advisor); Prof. Rodinei Facco Pegoraro – DCA/UNIMONTES (co-advisor).



## 1. INTRODUÇÃO

A canavicultura foi uma das primeiras atividades econômicas do Brasil colônia, sendo fundamental na construção de nossa identidade nacional. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e exportador de açúcar e álcool.

A cana-de-açúcar, sob todos os aspectos, é uma cultura geradora de riquezas, com enorme gama de produtos e subprodutos, que são utilizados nas mais diversas formas e fins. Dentre estes produtos, podemos citar o etanol, cachaça, garapa, rapadura, açúcar mascavo, energia elétrica através de termelétricas em usinas e na alimentação animal.

Nos cenários atuais de necessidade de produção de energia limpa e redução da dependência do petróleo e de aumento da demanda por alimentos, o açúcar e o etanol produzidos a partir da cana-de-açúcar têm obtido grande destaque no cenário econômico mundial.

Apesar do grande destaque da cultura no cenário agrícola atual, diversos aspectos sobre a ciência da utilização da vinhaça (subproduto da indústria) permanecem pouco esclarecidos, principalmente os relacionados à brotação pós-corte e à maturação.

O conhecimento aprofundado sobre o comportamento da planta da cana-de-açúcar pode levar ao desenvolvimento de novas técnicas de cultivo que permitam o aumento de produtividade e/ou do período útil de industrialização da cana-de-açúcar.

Recentemente, a região Norte de Minas Gerais, especialmente o projeto Jaíba, tem recebido grandes empreendimentos agroindustriais do setor sucroalcooleiro, e isso têm ocasionado uma grande demanda por trabalhos de pesquisa envolvendo a cultura da cana-de-açúcar nas condições edafoclimáticas do semiárido.

A utilização de resíduos na indústria sucroalcooleira é uma necessidade não só do ponto de vista ambiental, mas também uma forma de evitar desperdício de um material que pode vir a gerar lucros. Os resíduos do processamento da cana-de-açúcar para a produção de açúcar e álcool, que hoje em dia já são gerados em quantidade expressiva, devem aumentar consideravelmente nos próximos anos, com a expansão das lavouras de cana e a implementação de novas unidades agroindustriais.

No Brasil, praticamente toda a vinhaça gerada é aplicada na lavoura com o propósito de aproveitar o conteúdo, principalmente de potássio, para atender às exigências nutricionais da cana-de-açúcar.

A obtenção de altas produções e a sustentabilidade da atividade é dependente de fatores ambientais, fatores fitogenéticos e de fatores de manejo, bem como da interação entre eles. Neste aspecto, estudos que objetivem definir o correto manejo da fertilização da cultura, utilizando subprodutos da produção industrial como a vinhaça, podem propiciar ganhos significativos à produção, bem como ao meio ambiente, aspecto importante a considerar quando da implantação de projetos agroindustriais. Neste contexto, o estudo objetivou avaliar o desempenho de variedades de cana-de-açúcar e os atributos químicos do solo cultivado com irrigação suplementar e fertilizado com vinhaça.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Botânica e ecofisiologia da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, é uma planta pertencente à família Poaceae e à classe monocotiledônea. As principais espécies surgiram na Oceania (Nova Guiné) e na Ásia (Índia e China) e as variedades cultivadas no Brasil e no Mundo são híbridos multiespecíficos. As principais características dessa família são a inflorescência em forma de espiga, o crescimento do caule em colmos, as folhas com lâminas de sílica em sua bordas e a bainha aberta. A planta na forma nativa é perene, de hábito ereto e levemente decumbente na fase inicial do desenvolvimento (GLAZ 2002).

As plantas de metabolismo C<sub>4</sub> em maiores temperaturas (30 – 40 °C) possuem alto desempenho fotossintético, quando comparadas com plantas C<sub>3</sub>, pois necessitam de concentrações menores de CO<sub>2</sub>, devido aos mecanismos da planta que têm a função de concentração de CO<sub>2</sub> (TAIZ e ZEIGER, 2004). Portanto, nessas maiores temperaturas, haveria um crescimento mais rápido para a cana-de-açúcar, como pode ser observado entre os meses de outubro e maio (MACHADO *et al.* 1982).

Com relação às exigências climáticas, a cultura da cana-de-açúcar apresenta particularidades como: nas fases de brotação, perfilhamento e crescimento vegetativo (1º período do ciclo da cultura), a cultura é exigente em umidade e temperatura; na fase de maturação (2º período do ciclo da cultura), a cana-de-açúcar exige período seco e/ou baixas temperaturas, para que passe da fase vegetativa para a fase reprodutiva, entrando em repouso vegetativo, priorizando o acúmulo de sacarose nos colmos, que é a substância de reserva da cana-de-açúcar (ANDRADE e CARDOSO, 2004).

De maneira geral, pode-se afirmar que abaixo de 20 °C de temperatura média do ar, a brotação, o perfilhamento e o crescimento são praticamente nulos,

e entre 25 °C e 30 °C, ótimos; acima de 35 °C volta a ser praticamente nulos. Na maturação, a temperatura média do ar deve ser menor que 20 °C. No período do frio, o desenvolvimento vegetativo é paralisado e a planta passa a elaborar mais sacarose que será acumulada como substância de reserva, elevando seus teores no colmo (ANDRADE e CARDOSO, 2004).

## **2.2. Aspectos econômicos**

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e exportador de açúcar e álcool. A área cultivada com cana no País é de aproximadamente 6,5 milhões de hectares. A produção com tecnologia avançada e as características climáticas e de solo ideais para o plantio dessa cultura fazem com que o custo brasileiro de produção seja o menor (cerca de 50%) em relação aos seus concorrentes (NAPOLEÃO, 2007).

O Brasil é reconhecido mundialmente pelo pioneirismo na introdução do etanol em sua matriz energética. O crescimento do setor sucroalcooleiro se deve principalmente por considerações de ordem ambiental, pela elevação dos preços do petróleo no mercado internacional, pela incerteza na oferta de combustíveis fósseis a médio e longo prazo e pelas promissoras perspectivas do mercado interno e externo para esse biocombustível em um futuro bastante próximo.

A estimativa da produção nacional de cana-de-açúcar destinada à indústria sucroalcooleira em 2009/2010 foi de 7.531 hectares, distribuída em todos os estados produtores. A maior concentração está em: São Paulo – 4.101,4 mil ha; Paraná – 590,1 mil ha; Minas Gerais – 587,1 mil ha; Goiás – 520,3 mil ha e Alagoas – 448 mil ha. A produtividade média brasileira está estimada em 81.293 kg/hectare, 0,4% maior que a da safra 2008/2009, mostrando um certo equilíbrio nas duas safras. O centro-sul puxa as médias para cima devido às condições de produção, tamanho de lavoura, tipo de solo, topografia e tecnologia aplicada. Do total da cana esmagada, 276.007,1 mil toneladas

(45,08%) foram destinadas à produção de açúcar, produzindo 34.636,9 mil toneladas, e 336.204,1 mil toneladas (54,9992%) destinadas à produção de álcool, gerando um volume total de 25.866,06 milhões de litros de álcool. Deste total, 7.652,3 milhões de litros são de álcool anidro e 18.213,76 bilhões de litros são de álcool hidratado (CONAB, 2010).

A cana-de-açúcar é uma cultura que aproveita todos os subprodutos gerados na sua industrialização, que são utilizados dentro de uma mesma cadeia de produção ou podem ser destinados aos cultivos de outras plantas. Dentre esses subprodutos, destacam-se: a vinhaça, a torta de filtro, o bagaço e as cinzas provenientes da queima do bagaço em caldeiras. Além disso, segundo Landell (2007), a redução dos custos de produção e o aumento nos preços do petróleo tornaram o etanol brasileiro altamente competitivo no emergente mercado mundial dos biocombustíveis e, com a tecnologia já disponível no Brasil, é possível ampliar significativamente os canaviais sem derrubar florestas ou colocar em risco a produção de alimentos.

### **2.3 Nutrição da cana-de-açúcar**

Nas plantas, os nutrientes atuam como componentes de metabólitos e complexos, como ativadores, cofatores ou reguladores de enzimas e como integrantes e participantes de processos fisiológicos (EPSTEIN, 1975).

Dentre as funções dos macronutrientes, o N é constituinte de aminoácidos, nucleotídeos e coenzimas; o P é constituinte do ATP, a moeda energética da célula; o K é ativador de numerosas enzimas, participando do mecanismo de abertura estomática; o Ca é o cátion principal da lamela média da parede celular na forma de pectato, conferindo resistência mecânica aos tecidos; o Mg é constituinte da clorofila e ativador mais comum das enzimas relacionadas com o metabolismo energético e o S é constituinte dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina (EPSTEIN, 1975).

Vários fatores envolvidos na produção da cana-de-açúcar são extremamente importantes para a máxima eficiência de sua exploração econômica. Considerando que a adubação e a nutrição da cana-de-açúcar constituem um deles, é possível afirmar que a eficiência no incremento de produtividade será tanto maior quanto melhor for o ajuste desses fatores específicos de produtividade (VITTI e MAZZA, 2002).

O K é o nutriente exportado em maior quantidade pela cana-de-açúcar, principalmente pela cana-soca, correspondendo a uma extração de 210 kg de K<sub>2</sub>O para 100 toneladas de colmos (KONDORFER e OLIVEIRA, 2005). O potássio atua no metabolismo na ativação de várias enzimas (MENGEL e KIRKBY, 2001). Exerce também importante função na abertura e no fechamento dos estômatos (MEYER *et al.* 1973), estando ainda relacionado com a assimilação de gás carbônico (PEOPLES e KOCH, 1979) e a fotofosforilação (PFLUGER e MENGEL, 1972). Também está envolvido no transporte de açúcares das folhas para os colmos (ANDRADE, 2006).

Kondorfer *et al.* (1999) relataram que, em solos nos quais se instala a cultura da cana-de-açúcar pela primeira vez, observa-se pouca resposta da cana-planta à adubação potássica.

O P é um nutriente absorvido em pequenas quantidades pela cana-de-açúcar, quando comparado ao N e ao K, mas que exerce importantes funções no metabolismo da planta, em especial na formação de proteínas, processo de divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia e desdobraimento de açúcares (ALEXANDER, 1973). Malavolta *et al.* (1980) mencionaram ainda a importância desse nutriente no enraizamento e no perfilhamento da cana-de-açúcar.

Medina *et al.* (1991), em Cuba, e Komdorfer e Alcarde (1992), no Brasil, concluíram que a adubação fosfatada na cana-de-açúcar proporcionou um



incremento no perfilhamento, produzindo como resultado final um aumento na produtividade de colmos.

A aplicação de elevadas doses de K no sulco de plantio, visto que neste período o sistema radicular da cana-de-açúcar é pouco desenvolvido, favorece a lixiviação deste nutriente. Dessa forma, Lana *et al.* (2004) verificaram um incremento significativo da produção de colmos com a adoção da adubação potássica parcelada, sendo que o parcelamento dosagem de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no sulco de plantio e 60 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura promoveu um incremento superior a 9% na produção de cana em relação a essa dosagem aplicada totalmente no sulco de plantio.

Prezotti e Defelitto (1987) e Oliveira *et al.* (2002b) constataram a lixiviação de K mencionando, ainda, a importância do parcelamento desta adubação para reduzir as perdas e melhorar a eficiência de utilização deste nutriente. A prática da calagem é suficiente para suprir a nutrição de Ca e Mg na maioria das culturas (RAIJ, 1991).

Casagrande (1991) mencionou que a cana-de-açúcar é uma das plantas mais tolerantes à concentração do alumínio no solo, sendo esta característica variável em função das características genéticas da variedade a ser utilizada no cultivo.

A cana-de-açúcar foi pouco sensível à acidez do solo, sendo pouco influenciada pelo pH, saturação por bases, saturação por alumínio e teores de alumínio trocável; porém, respondeu significativamente ao calcário, devido ao aumento nos teores de cálcio e magnésio no solo (BENEDINI, 1988).

A exigência de S pelas plantas situa-se em, aproximadamente, 10% da necessidade de N, devido à sua presença em apenas dois aminoácidos e algumas coenzimas (CANTARELLA *et al.* 2007).

## **2.4 Caracterização da vinhaça**

A vinhaça é também conhecida como vinhoto, é oriunda do vinho fermentado nas dornas. Tendo como base as indústrias mineiras do setor sucroalcooleiro, observa-se uma geração média de 12 e 15 m<sup>3</sup> de vinhaça por m<sup>3</sup> de álcool produzido (ALMEIDA *et al.* 2007).

Segundo Orlando Filho *et al.* (1983), com uma usina de açúcar com destilaria anexa, a produção de vinhaça, a partir de 1 t de cana-de-açúcar, é de 156 L, aproximadamente, tendo-se ainda, 30 kg de torta de filtro e 250 kg de bagaço (equivalente a 6 kg de cinzas, após a queima em caldeiras). Em destilarias autônomas, a partir de 1 t de cana-de-açúcar, tem-se a produção aproximada de 910 L de vinhaça, tendo-se ainda, 250 kg de bagaço.

Devido ao seu alto poder poluidor, sua eliminação era um problema para as indústrias, mas hoje, entretanto, a aplicação da vinhaça no canavial, como fertirrigação, é prática muito difundida entre as usinas e destilarias brasileiras (PAULINO *et al.* 2002).

A cana-de-açúcar, por produzir grandes quantidades de massa, extrai do solo e acumula na planta grande quantidade de nutrientes (OLIVEIRA *et al.* 2007), sendo necessária a adequada reposição destes, notadamente, em ordem decrescente: K > N > Ca > Mg > P (SILVA e CASAGRANDE, 1983).

Geralmente, o K da adubação é fornecido às plantas em combinação principalmente com o cloreto ou sulfato. Contudo, a vinhaça tem um grande potencial como fonte alternativa de K. A composição da vinhaça é bastante variável e depende da matéria-prima usada, do tipo de destilado a ser obtido e do tipo de fermentação empregada, sendo normalmente rica em matéria orgânica, com composição mineral variável e predominância do K entre os cátions (GLÓRIA e ORLANDO FILHO (1975), GLÓRIA e SANTA ANA, 1975). Se comparada com o bagaço e a torta de filtro, a vinhaça é o resíduo mais rico em fontes de nutrientes, principalmente em K, possuindo também Ca, Mg, P, Mn e N orgânico (ALMEIDA *et al.* 2007). Com isto, nota-se que a cana é altamente

exigente em potássio e sua carência reflete não apenas na diminuição da biomassa produzida, como também no menor acúmulo de açúcares no colmo, explicado pela menor fotossíntese e pela menor translocação (GLÓRIA, 1985). Ocorre, também, diminuição do crescimento e do perfilhamento da cana, além da formação de colmos mais finos com internódios mais curtos (ORLANDO FILHO, 1977).

A aplicação da vinhaça ou vinhoto como fonte orgânica de adubação, ganhou espaço significativo devido a vantagens como: requerimento de baixo investimento inicial, baixo custo de manutenção, rápida disposição para sua aplicação e não envolvimento de uso de tecnologia complexa. Sua aplicação pode ser realizada de várias maneiras, como: aspersão convencional, autopropelido, sulcos de infiltração e caminhões-tanque.

## **2.5 Uso da vinhaça como fonte de nutrientes**

Tendo em vista ser a cultura da cana-de-açúcar grande exportadora de nutrientes e geradora de grande pressão sobre a sustentabilidade da produção de solos agrícolas, tem-se a possibilidade do uso de certas práticas básicas de conservação do solo e manutenção da fertilidade. Dentre essas, destacam-se os aspectos que visam à adição e conservação da matéria orgânica do solo, como o uso da vinhaça como fonte orgânica de adubação (SILVA *et al.* 2006) para a melhoria na fertilidade do solo e na própria qualidade da matéria orgânica do solo, com o aumento do conteúdo de substâncias húmicas alcalino solúveis mais condensadas (CANELLA *et al.* 2003).

O uso da vinhaça como fonte de nutrientes na cultura da cana-de-açúcar é uma alternativa altamente viável em sistemas de produção de álcool e açúcar, permitindo a redução dos problemas de poluição dos corpos de água próximos às usinas, substituindo a adubação mineral como fonte de potássio para a cana-

de-açúcar e baixando o custo de produção por tonelada de cana-de-açúcar (LEITE, 1999).

Avaliar comparativamente a adubação com esse subproduto e a adubação potássica mineral, em termos de produtividade e qualidade, principalmente em novas áreas produtoras, em função de variações do solo, clima e variedades, é de grande importância (MANHÃES *et al.* 2003). Ressalta-se também a importância de estudos relacionados à influência do uso da vinhaça sobre atributos físicos e químicos do solo, uma vez que há expressiva diferença entre os solos cultivados com diferentes doses de vinhaça, formas de irrigação e manejo cultural (SILVA *et al.* 2005).

Uma das principais classes de solo encontrada no Distrito Agroindustrial do Jaíba e também na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros (Janaúba-MG), Norte de Minas Gerais, é o Latossolo Vermelho Eutrófico, sendo proveniente, nesta região, de calcário do grupo Bambuí, com aparente homogeneidade fisiográfica (relevo plano e floresta caducifólia). Esses Latossolos estão situados em posições ligeiramente mais elevadas na paisagem, dispondo de melhor drenagem, o que permite principalmente a gênese de hematita (promovendo a cor vermelha), associada a baixos teores de Na e relevo predominantemente plano e suave-ondulado. Tais condições confirmam a grande potencialidade agrícola da área, principalmente sob irrigação (OLIVEIRA *et al.* 1998).

Nos Latossolos, assim como em outros solos explorados com a canavieira industrial, o efeito da aplicação de subprodutos, como a vinhaça, no cultivo da cana-de-açúcar é, na maioria das vezes, decorrente da elevação da produtividade, em detrimento do acúmulo de sacarose e, no caso de áreas irrigadas onde são aplicadas doses elevadas do subproduto, também dos açúcares redutores. Entretanto, na maioria dos casos, ocorre uma elevação significativa no teor de cinzas condutimétricas do caldo. A aplicação de vinhaça

pode ou não afetar a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar como matéria-prima industrial, em função principalmente da dosagem empregada, da classe de solo e da variedade utilizada, havendo, porém, maior tendência de efeito negativo, quando aplicada em doses elevadas, por meio de sistemas que proporcionem maior desenvolvimento vegetativo da planta, como o sistema de sulcos de infiltração (SILVA, 1983).

Quando aplicada na dose adequada, buscando-se a substituição da adubação mineral, a vinhaça constitui-se em excelente fonte de nutrientes para a obtenção de maiores rendimentos de açúcar e álcool por área, sem, contudo, afetar a sua qualidade como matéria-prima industrial (RESENDE *et al.* 2006).

## **2.6 Atributos químicos do solo e sua importância**

O acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, com a utilização da vinhaça na adubação da cultura de cana-de-açúcar, apresenta-se como fator fundamental para que sejam obtidas vantagens como a melhoria dos atributos químicos do solo, diminuição das perdas de solo por lixiviação e erosão, reciclagem de nutrientes e fornecimento gradativo dos mesmos para as culturas comerciais durante a decomposição (AMADO, 2000).

A redução do processo erosivo permite maior oferta e disponibilidade de nutrientes às plantas; as alterações na umidade e na temperatura do solo influenciam a atividade biológica e com isso a solubilização, a liberação de nutrientes e a eficiência na absorção pelas raízes das plantas; a elevação da taxa de infiltração e o armazenamento de água alteram os mecanismos de movimentação e redistribuição dos nutrientes com maior mobilidade, como N, S e K (SÁ, 2002).

A estabilização dos teores de nutrientes no solo pode implicar no aumento ou manutenção dos níveis de produtividade no decorrer das safras agrícolas, o

que levaria à redução da quantidade ou mesmo tornaria desnecessária a utilização de adubo mineral, em algumas situações (AMADO, 2000).

Estudos com utilização da vinhaça como adubação têm demonstrado aumento de pH e redução do H+Al (PRADO e FERNANDES, 2000, 2003), em razão da presença de agente neutralizante da acidez como a matéria orgânica (ALCARDE, 1992), incrementos na disponibilidade de P (PRADO *et al.* 2002), Ca, Mg (PRADO e FERNANDES, 2000, 2003) e Si no solo (Anderson *et al.* 1987; Winslow, 1992), o que, para culturas acumuladoras de Si como o arroz e a cana-de-açúcar (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995), tem refletido em tolerância a doenças e aumentos de produtividade.

Quanto aos efeitos da compactação sobre a disponibilidade e a absorção de nutrientes pelas plantas, estes são variáveis conforme o tipo de solo, da cultura e do sistema adotado. Corrêa *et al.* (1998), testando variedades de cana-de-açúcar em solos sob diferentes níveis de compactação, constataram que o grau de compactação reduziu a concentração de Zn, B e Fe na parte aérea e aumentou a de S, K e N, independentemente da cultivar e tipo de solo. Já para o fósforo, houve aumento na concentração no Latossolo Vermelho textura média e redução no Latossolo Vermelho textura argilosa, independentemente da variedade de cana-de-açúcar considerada.

A compactação aumenta a interação do íon de fosfato e do potássio com a superfície dos colóides do solo, ao longo de sua trajetória de difusão, fazendo com que estes elementos tenham que se difundir cada vez mais próximo de superfícies providas de cargas que os adsorvem (Novais e Smyth, 1999). Assim, Rezende *et al.* (2003) concluíram que a compactação em solos argilosos dificulta drasticamente a absorção de nutrientes pelas culturas, principalmente quando submetidos a baixos teores de água.

Alguns tipos de solos possuem maior capacidade de suportar cargas e maior faixa de friabilidade, o que resulta em um maior intervalo de tempo para o

seu manejo após o período de chuva (SILVA *et al.* 2003). A diferenciação entre tipos de solo deve-se aos diferentes estados de agregação, à textura, ao teor de água, à matéria orgânica (BRAIDA *et al.* 2006) e às tensões recebidas pelo solo no passado (DIAS JÚNIOR E PIERCE, 1996; KONDO E DIAS JÚNIOR, 1999; SILVA *et al.* 2002).

### **2.7 Efeitos da vinhaça nos atributos químicos do solo**

Um dos principais efeitos da vinhaça nos atributos químicos do solo é a elevação temporária no pH. Esse efeito está relacionado com o ambiente reduzido imposto pela vinhaça devido à sua elevada demanda bioquímica de oxigênio. Em tais condições, íons H<sup>+</sup> passam a atuar como aceptores finais de elétrons. Como consequência do seu consumo, o pH eleva-se temporariamente; esse processo está relacionado com a decomposição da matéria orgânica da vinhaça, que é altamente decomponível (Doelsch *et al.*, 2009).

Outros efeitos da vinhaça estão relacionados com o complexo de troca do solo, como o aumento da saturação por potássio, da soma de bases, capacidade de troca de cátions, aumento nos teores de macro e micronutrientes (CANELLAS *et al.*, 2003). A quantidade grandemente desproporcional de K em relação a Ca e Mg na vinhaça pode promover um desbalanço destes nutrientes no solo (SENGIK *et al.*, 1988), o que pode influenciar a absorção pelas plantas. CANELLA *et al.*, (2003) observaram que a vinhaça alterou as propriedades químicas do solo, proporcionando melhoria na fertilidade e na qualidade da matéria orgânica do solo.

### 3 MATERIAL E METÓDOS

O experimento foi desenvolvido em área da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, localizada no município de Janaúba (MG), em um solo classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico (LVE) textura média. O experimento foi instalado nos dias 03 e 04 de dezembro de 2007, sendo o preparo de solo realizado com uma aração e duas gradagens.

O município de Janaúba está situado na região semiárida do estado de Minas Gerais, a 15°47'50'' de latitude sul e a 43°18'31'' de longitude oeste, com uma altitude média de 516 metros (IBGE, 2009). O clima da região, segundo Koppen, é do tipo AW (tropical mesotérmico com chuvas irregulares, ocasionando longos períodos de seca). A temperatura média anual é de 25 °C, no mês mais quente é de 38 °C e no mês mais frio é de 11 °C. A pluviosidade durante a condução do experimento foi de 424,3 mm (INMET, 2009).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e um tratamento adicional. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial [(2 x 4) + 1], sendo duas variedades de cana-de-açúcar (RB85-5453 e SP80-1816), quatro níveis de aplicação de vinhaça em cobertura (0, 120, 240 e 420 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> da recomendação, conforme CFSEMG, 1999) e um nível de adubação mineral com cloreto de potássio (KCl) em cobertura. Onde o cálculo para a dose de vinhaça a ser aplicada foi estabelecida por meio da aplicação da equação:  $V = \frac{[(0,05 \times CTC - K \text{ solo}) \times 3.744 + 185]}{K \text{ vinhaça}}$

K vinhaça

Sendo:

V = volume de vinhaça (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)

CTC = capacidade de troca catiônica do solo determinada a pH 7,0 (cmol dm<sup>-3</sup>)



K solo = teor de K no solo ( $\text{cmol dm}^{-3}$ )

185 =  $\text{K}_2\text{O}$  extraído pela cana-de-açúcar ( $\text{Kg ha}^{-1}$ )

K vinhaça = concentração de  $\text{K}^+$  na vinhaça ( $\text{Kg m}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ )

**TABELA 1.** Característica química da vinhaça

Prot	Identificação	pH <sup>1</sup>	K <sup>2</sup>	Ca <sup>3</sup>	Mg <sup>3</sup>	Al <sup>3</sup>
-----g/L -----						
1	Vinhaça início	3,7	32,1	11,1	1,6	
2	Vinhaça destilaria	3,5	449,3	120,6	37,6	
3	Vinhaça final	3,5	100,3	82,1	20,3	

1. pH em água 2. Extrator Mehlich 1; 3. Extrator KCl 1 mol/L.

As duas variedades de cana-de-açúcar foram selecionadas a partir de material genético com características agrônômicas vantajosas para o uso industrial cedido pelo Programa de Desenvolvimento da Bovinocultura de Leite (PROCRIAR) da EMBRAPA em parceria com a EMATER - MG (Tabela 2) e testadas na Fazenda Experimental da UNIMONTES em Janaúba (MG).

**TABELA 2.** Características agrônômicas das variedades utilizadas no projeto.

Variedade*	produtividade	Maturação	Colheita	Fertilidade	Florescimento
SP80-1816	Alta	Média	Jul / Set	Média	Ausente
RB85-5453	Alta	Precoce	Jun / Ago	Alta	Médio

\*Variedades cedidas pelo programa PROCRIAR e que obtiveram os melhores desempenhos na Fazenda Experimental da Unimontes em Janaúba (DIAS, 2006).

Cada parcela foi composta por seis linhas de 7 metros de comprimento (CESNIK e MIOCQUE, 2004) espaçadas de 1,40 metro, sendo as duas linhas centrais consideradas como úteis para efeito de coleta de dados e observações, descartando-se 2 metros em cada extremidade da linha.

No plantio, a abertura dos sulcos foi realizada com o sulcador movido à tração motorizada, considerando o espaçamento de 1,40 metro entre fileiras. Utilizaram-se colmos de 10 a 12 meses de idade seccionados em toletes contendo de 3 a 5 gemas, considerando a densidade de 14-16 gemas por metro de sulco. Os toletes foram cobertos com uma camada de solo de 6 a 10 cm.

As adubações de plantio foram realizadas de acordo com a análise de solo (Tabela 3), aplicando-se, por ocasião do plantio, 20 kg ha<sup>-1</sup> de N utilizando como fonte a ureia (45% de N), 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples com 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio com 58% de K<sub>2</sub>O). Não houve necessidade de calagem. Foram aplicados em cobertura 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando como fonte a ureia (45% de N) aos 70 dias após o plantio conforme (CFSEMG, 1999).

**TABELA 3.** Resultado da análise química do solo da área experimental, realizada em novembro de 2007. UNIMONTES, Janaúba – MG, 2010.

Camada (cm)	pH H <sub>2</sub> O	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	H+Al Al <sup>+3</sup>		SB	T	Na <sup>+</sup>	V (%)	P	K <sup>+</sup>
		(cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> )								(mg/dm <sup>3</sup> )	
0 – 20	6,2	2,2	0,7	3,6	0,2	3,3	6,9	-	47	6,0	147
20 – 40	6,1	3,7	1,0	2,6	0,1	4,9	7,4	-	65	3,9	68

SB = Soma de bases; T = Capacidade de troca catiônica a pH 7; V = Saturação por bases

A vinhaça foi obtida da destilaria instalada na região norte de Minas Gerais (SADA), apresentando como principais características: pH (3,5); C<sub>org</sub> (9,6 g L<sup>-1</sup>); K<sup>+</sup> (3,2 g L<sup>-1</sup>), onde foi aplicada em cobertura por meio de uma mangueira.

Foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão convencional com aspersores de baixa pressão. A evapotranspiração potencial de referência foi calculada com base na evaporação do tanque classe A, conforme Bernardo (1989). Assim, foram coletados dados diários de precipitação, umidade relativa,

velocidade do vento e evaporação do tanque classe A. A frequência de irrigação foi adotada de acordo com o armazenamento de água no solo e do seu fator de disponibilidade ( $F= 0,5$ ). Para o cálculo do armazenamento de água no solo, foram determinadas características físico-hídricas, por meio de amostragem de solo nas profundidades de 0 a 15; 15 a 30; 30 a 45 e 45 a 60 cm. Para monitorar a umidade do solo, foram retiradas amostras de até 120 cm de profundidade em intervalos de 30 cm.

Para o controle de plantas invasoras, foi utilizado o herbicida pós-emergente Diuron (Velpar KWG) na dosagem de  $4 \text{ L ha}^{-1}$ , mais repasse manual com enxada mantendo-se no limpo até 120 dias após o plantio.

O corte da irrigação ocorreu no dia 02/05/2008. A colheita aconteceu nos dias 19 e 20 de setembro de 2008, quando foram avaliadas as seguintes características: altura de planta (m), comprimento de colmo (m), diâmetro do colmo (cm), densidade de colmos ( $\text{n}^\circ \text{ m}^{-1}$ ); peso de colmo ( $\text{t ha}^{-1}$ ), teor de sólidos solúveis totais ( $^\circ\text{Brix}$ ) seguindo-se a metodologia descrita por (RIBEIRO, 1999).

Altura da planta foi determinada com o auxílio de uma trena, medindo-se a planta desde sua base rente ao solo até a inserção da folha + 1 com bainha, do ápice da planta para baixo, na época da colheita.

Comprimento do colmo foi determinada com o auxílio de uma trena, medindo-se os colmos desde a sua base rente ao solo até o último colmo antes da inserção das folhas, na época da colheita.

A Avaliação do diâmetro do colmo foi determinada com o auxílio do paquímetro na altura mediana do colmo (entre 1º e 2º terços do colmo).

A densidade de colmos foi determinada pela contagem dos colmos dentro de cada parcela na época da colheita.

A produtividade foi determinada pelo método alternativo para medição da Produção de cana-de-açúcar, segundo GHELIER *et al.* (1999), pesando-se

todo o material cortado, na área útil das parcelas, com o auxílio de uma balança pendular digital.

Para análise de açúcares solúveis (°Brix), utilizou-se refratômetro de campo, coletaram-se 10 colmos aleatórios por parcela para leitura do Brix. Com base em valores de Brix, calculou-se o Índice de Maturação (IM) obtido pela fórmula:

$$\text{IM} = \frac{\text{°Brix da ponta}}{\text{°Brix do pé}}$$

Onde o resultado de IM desejado deve ser maior ou igual a 0,85, para que a variedade apresente ponto de colheita ideal.

Os atributos químicos do solo foram avaliados antes da implantação do experimento e na colheita da cana-planta. Em cada época, foram coletadas 160 (cento e sessenta) amostras de solo, em um ponto aleatoriamente na parcela experimental, nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60 m.

Nas amostras deformadas de solo, foram determinados os teores de Carbono orgânico pelo método Walkley e Black (0,5 g de TFSA triturado em almofariz é oxidado pelo  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ), pH em água (10 cm<sup>3</sup> TFSA mais 25 mL H<sub>2</sub>O), Potássio disponível pelo método mehlich-1, Fósforo disponível pelo método mehlich-1, Magnésio trocável pelo método KCl 1 mol/L, Cálcio trocável pelo método KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, Capacidade efetiva de troca de cátions (t), Capacidade de troca de cátions a pH7 (T), Acidez trocável pelo método KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, Acidez potencial pelo método Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> (5 cm<sup>3</sup> TFSA: 75 mL extrator, 10 minutos de agitação e decantação por 16 h), saturação por alumínio ( $m=100 \text{ Al}^{+3}/t$ , em %), saturação por bases ( $V=100 \text{ SB}/T$ , em %), soma de bases ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$ , em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). A extração de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  é feita com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> na relação 10 cm<sup>3</sup> TFSA: 100 mL extrator, 5 minutos de agitação e decantação durante o pernoite (16h).

A análise estatística dos dados foi realizada com o auxílio do software SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE – SAS, 2003), por meio do procedimento GLM.

Quando a interação solo x dose mostrou-se significativa, em nível de 5% de probabilidade, optou-se por realizar o desdobramento da análise, fixando-se o fator solo, ou seja, comparando todas as doses com a dose-testemunha (dose KCl) mediante teste Dunnett. Para comparação das diferentes doses de vinhaça aplicadas, foi realizada a técnica de análise de regressão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Variáveis Agronômicas

A análise dos resultados obtidos para os parâmetros altura das plantas, apresentados na tabela 04, mostra que houve diferença significativa entre o tratamento 0 quando comparado com a testemunha, sendo que os tratamentos onde se utilizaram 240 e 420 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> de vinhaça foram aqueles que apresentaram maiores médias.

Estes resultados confirmam os encontrados por Rossiello (1987) e Souza (1995), que verificaram altura de plantas de cana-de-açúcar superior a 2,00 m no final do ciclo da cultura.

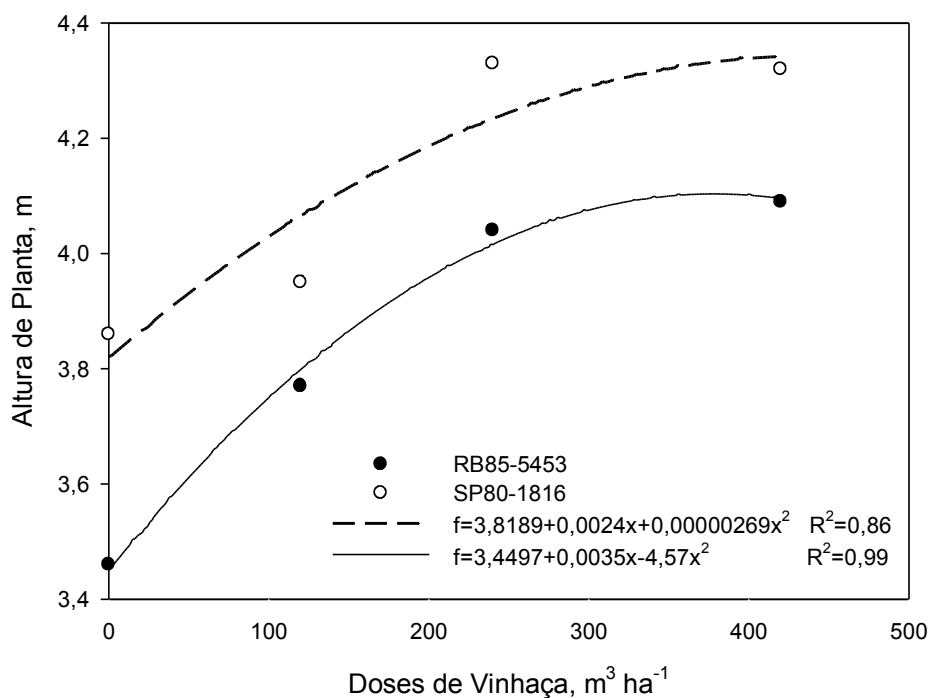
**TABELA 4** – Valores de altura de planta, em metros, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Altura da Planta (m) Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
0	3,46*	3,86*
120	3,77*	3,95*
240	4,04	4,33
420	4,09	4,32
Média	3,84	4,11
Testemunha (KCl)	3,97	4,22
CV%	12,78	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

Os resultados da altura de plantas nas variedades RB85-5453 e SP80-1816 para os diferentes tratamentos estão apresentados na Tabela 04. Pode ser observada a mesma tendência de evolução para as diferentes variedades, sendo

que as maiores médias foram obtidas nos tratamentos 240 e 420 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> de vinhaça.



**GRÁFICO 01** - Valores de altura de planta, em metros, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Como pode ser verificado no Gráfico 01, o incremento obtido para a altura de plantas evidenciado pela curva de crescimento quadrática pode ser justificado pelo fornecimento de Potássio nas doses crescentes de vinhaça, nutriente em maior proporção neste resíduo aplicado ao canavial.

A importância deste nutriente pode ser evidenciada por Ernani *et al.* (2007) que ressaltam que este nutriente é o segundo mais requerido pelas plantas em quantidades. Esses autores relatam que além de se destacar na ativação de vários processos enzimáticos, o K atua na síntese de proteínas, da adenosina

trifosfato (ATP), na regulação osmótica e síntese de carboidratos. Em relação aos sintomas da deficiência deste nutriente, Fontes (2006) destacam a redução de internódios, da dominância apical e do crescimento de plantas.

A tendência da curva em chegar a um ponto máximo e decrescer pode ser relacionada com a afirmação de Silva *et al.* (2006) que, embora a vinhaça possa promover melhoria na fertilidade do solo, as quantidades aplicadas não devem ultrapassar sua capacidade de troca iônica, por afetar o desenvolvimento e crescimento dos vegetais. Sengik (1983) corrobora tal afirmação por verificar que houve reduções no crescimento de plantas de sorgo quando submetidas à aplicação de maiores doses de vinhaça, devido ao desbalanceamento catiônico e aumento da condutividade elétrica no solo.

Além desses fatores intrínsecos ao solo, Mata e Loureiro (2010) concluíram que extremos de concentração de Potássio, nutriente em maior concentração na vinhaça, inibem o crescimento e formação de gemas. Estreita relação foi encontrada em relação à altura de plantas e quantidade de cálcio e magnésio no solo por Fernandes, 1985. Este autor trabalhou com duas variedades e apesar das diferenças entre a altura dos colmos com relação ao uso de calcário no solo, não foram encontrados efeitos significativos.

Na Tabela 05 é apresentado o comprimento de colmos para as duas variedades de cana-de-açúcar estudadas. De acordo com os dados, houve diferença significativa no comprimento de colmos entre os tratamentos em relação à testemunha, em que as dose 0 e 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> mostraram-se inferiores nas duas variedades avaliadas. Todavia, as doses 240 e 420 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, que foram estatisticamente iguais à testemunha, conferem à primeira dose citada a superioridade em relação a esta variável com menor dose de vinhaça e igual rendimento. É relevante notar que esta dose foi obtida segundo o cálculo baseado no teor de potássio na vinhaça a fim de suprir no solo a deficiência



deste nutriente em relação à recomendação para a cultura da cana (RIBEIRO *et al.*, 1999).

**TABELA 5** – Valores de Comprimento de colmo, em metros, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

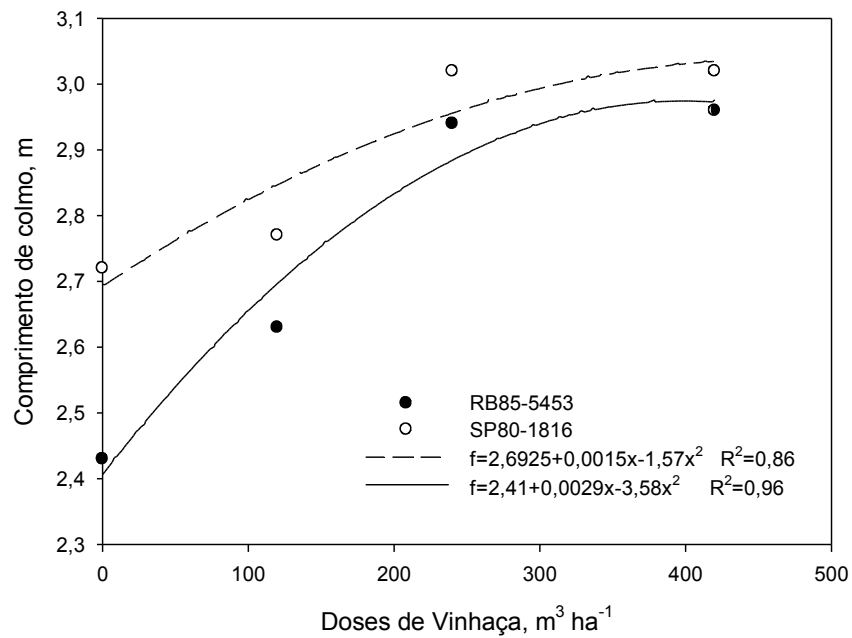
Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Comprimento de colmos (m)	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	2,43*	2,72*
<b>120</b>	2,63*	2,77*
<b>240</b>	2,94	3,02
<b>420</b>	2,96	3,02
<b>Média</b>	2,74	2,88
<b>Testemunha (KCl)</b>	2,82	2,93
<b>CV%</b>	<b>12,5</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

A variedade SP80-1816 obteve valores superiores para comprimento de colmo para as diferentes doses de vinhaça do que a variedade RB85-5453. Silva *et al.*, (2007), avaliando a altura de colmo das cultivares IAC 873396, IAC 2195 e IAC 915155, obtiveram 2,34; 2,16 e 2,59 m, respectivamente. Estes valores observados pelos autores são inferiores à média 2,82 m da cultivar RB85-453 e 2,93m da cultivar SP80-1816.

A curva de derivação para comprimento de colmo em relação às doses de vinhaça pode ser encontrada no Gráfico 02. Ressalta-se o comportamento quadrático que foi também obtido nesta variável e na altura de plantas. A variedade SP80-1816 apresentou melhores incrementos no comprimento de colmos do que a variedade RB85-5453. Vargas (1981), comparando o comprimento de colmos de cana-de-açúcar cultivada em solo que recebeu doses

de calcário, concluiu que não existe diferença significativa entre a altura dos colmos com relação ao uso de calcário no solo.



**GRÁFICO 02** - Valores de Comprimento de colmos, em metros, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

A cultivar SP80-1816 apresentou maiores alturas tanto de planta quanto de colmo quando comparada com a altura da cultivar RB85-5453 em todos os tratamentos testados. Resultados semelhantes foram obtidos por Machado *et al.* (1982); Miocque (1999); Suguitani (2001) e Ido (2003) onde relataram aumento em altura de 57% até 62%, durante os meses de novembro a março. Ramesh e Mahadevaswamy (2000) relacionaram a diferença na altura do colmo com o tipo de perfilho, sendo que o perfilho primário é o que apresenta maior crescimento por não haver competição na fase inicial de desenvolvimento. No entanto,

Shigaki (2003), avaliando variedades de cana-de-açúcar sobre deficit hídrico verificou que a disponibilidade de água no solo é o principal fator responsável pela maior alongação dos entrenós.

Os resultados de diâmetro dos colmos nas duas variedades de cana-de-açúcar estão apresentados na Tabela 06, onde pode-se observar diferença significativa no diâmetro dos colmos quando comparado com a testemunha para ambas as variedades. A variedade SP80-1816 apresentou um diâmetro de colmo médio (3,47 cm) superior à variedade RB85-5453, mas verifica-se que o diâmetro do colmo é uma característica intrínseca das cultivares, sendo pouco influenciada por algumas condições de cultivo. De acordo com Cesnik e Miocque (2004) e Mozambani *et al* (2006), todos os colmos podem ser considerados médios entre (2 e 3 cm), mostrando que este parâmetro é pouco influenciado pelo meio, constituindo-se numa característica intrínseca de cada cultivar.

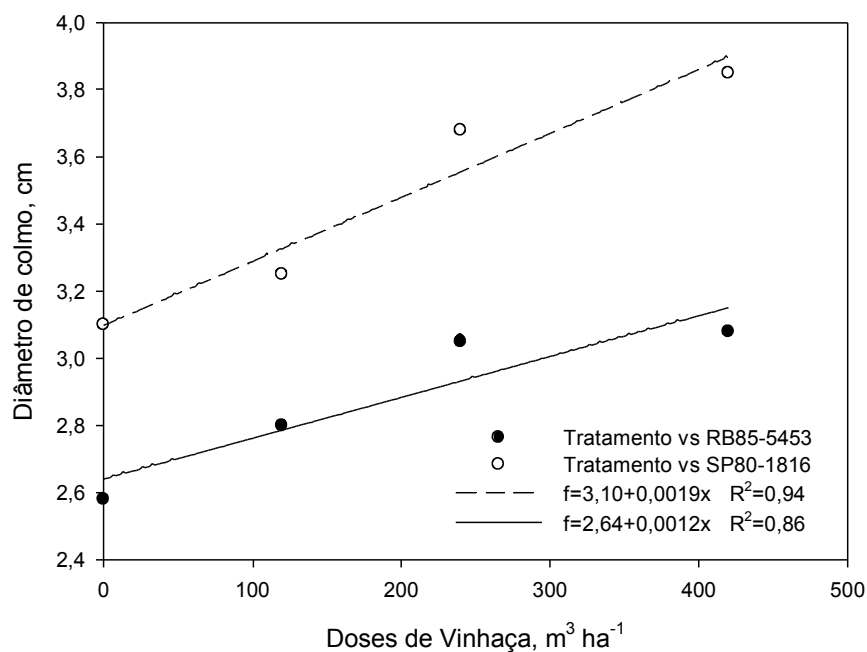
**TABELA 6** – Valores de diâmetro de colmo, em centímetro, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Diâmetro (cm)	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	2,58*	3,10*
<b>120</b>	2,80	3,25
<b>240</b>	3,05	3,68
<b>420</b>	3,08	3,85
<b>Média</b>	2,88	3,47
<b>Testemunha (KCl)</b>	2,80	3,30
<b>CV%</b>	<b>12,54</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

Resultados divergentes foram obtidos por Ramesh e Mahadevaswamy (2000) ao analisarem o diâmetro do colmo de diferentes variedades da cana-de-açúcar. De acordo com os resultados obtidos por estes autores, entre as variedades testadas, não foi observada diferença significativa no diâmetro de colmo.

O diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar é um importante componente da produtividade, visto que o mesmo varia em função de diferentes variedades. No entanto, conforme Humbert (1968), o diâmetro dos colmos oriundos da colheita de cana-planta é maior que o diâmetro dos oriundos de cana-soca.



**GRÁFICO 03** - Valores de diâmetro de colmos, em centímetro, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

O Gráfico 03 mostra o diâmetro de colmo em relação às doses de vinhaça. Como pode ser visto, o comportamento linear indica haver aumento no

diâmetro de colmo com o aumento das doses de vinhaça. Wallingford (1980) justifica o aumento linear do diâmetro de colmo deste trabalho em estudos da deficiência de Potássio na cana-de-açúcar e algodão, onde o autor notou queda no movimento dos açúcares da folha (fonte) para o colmo (dreno).

Azevedo (2006), avaliando diversas variedades de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo, obteve diâmetro de colmo médio de 2,62 cm em sistema de plantio direto. A divergência entre o diâmetro de colmo das variedades deste trabalho e as variedades desse autor pode ser justificada pelo potencial genético destas em acumular carboidratos no colmo seja pela conversão de biomassa seja pelo movimento dos açúcares.

A Tabela 07 apresenta a densidade de colmos para as duas variedades de cana-de-açúcar estudadas. De acordo com os dados, não houve diferença significativa na densidade de colmo entre os tratamentos testados.

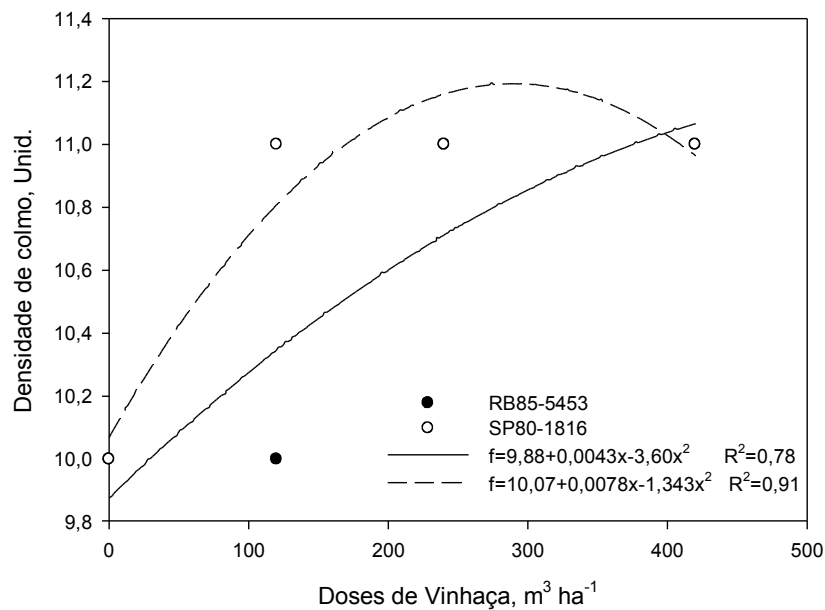
**TABELA 7** – Valores de densidade de colmos, em unidades, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Densidade de colmos (unid.) Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	10	10
<b>120</b>	10	11
<b>240</b>	11	11
<b>420</b>	11	11
<b>Média</b>	10,5	10,6
<b>Testemunha (KCl)</b>	11,00	10,03
<b>CV%</b>	<b>13,34</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

Pelo Gráfico 04, também verifica-se que as médias da densidade de colmos por metro tiveram comportamento aproximadamente linear, porém, a

variedade SP80-1816 apresentou maior desempenho em relação a esta característica do que a variedade RB85-5453. O aumento da densidade pode ser justificado pelo fornecimento de Potássio e Nitrogênio dentre outros nutrientes contidos na vinhaça, de modo a suprir a deficiência e estimular a planta a aumentar o número de perfilhos por área (MALAVOLTA, 1994).



**GRÁFICO 04** - Valores de Densidade de colmo, em unidade, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Ao estudar o comportamento de clones e variedades de cana-de-açúcar, Vasconcelos (1998) realizou a densidade de colmo, obtendo 12,5 e 12,6 perfilhos para as variedades RB85-5536 e RB72-454, não encontrando diferença significativa entre os tratamentos; o que corrobora os resultados do presente

estudo , pois não foi observado diferença significativa entre as variedades RB85-5453 e SP80-1816.

Uma boa brotação é considerada a base para uma boa colheita; no entanto, o perfilhamento é, sem dúvida, o próximo passo, pois provê a planta com um número adequado de colmos, fator indispensável para a obtenção de uma boa produtividade. Desta maneira, as próximas etapas do desenvolvimento da planta são a alongação dos colmos (crescimento) que determina a produtividade, e a formação dos açúcares (amadurecimento) que, por sua vez, fixa o conteúdo da sacarose. Conseqüentemente, o perfilhamento constitui-se numa característica benéfica de uma variedade (VAN DILLEWIJN, 1952). Portanto o perfilhamento é um aspecto de grande importância, visto que ele é potencialmente, um dos componentes da produtividade mais afetados com o decorrer dos cortes, ou seja, a capacidade da planta perfilhar, com o passar dos anos e dos cortes, influencia sobremaneira a produtividade agrícola das mesmas.

Barber, 1938 apud Van Dillewijn (1952), estudando diferentes variedades de cana-de-açúcar, mostrou a existência de uma correlação negativa não proporcional entre diâmetro dos colmos das touceiras e perfilhamento. Desta forma, um menor diâmetro dos colmos pode estar relacionado com um menor perfilhamento das touceiras e, conseqüentemente, menor produtividade.

O índice de maturação das variedades em estudo está apresentado na Tabela 08, onde se observa a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos.

A vinhaça proporciona, segundo Almeida (1955), maiores condições favoráveis ao ciclo vegetativo, aumentando sua riqueza sacarina e a pureza do caldo, se cortada na ocasião propícia, embora retardando a maturação.

**TABELA 08** – Valores de índice de maturação, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

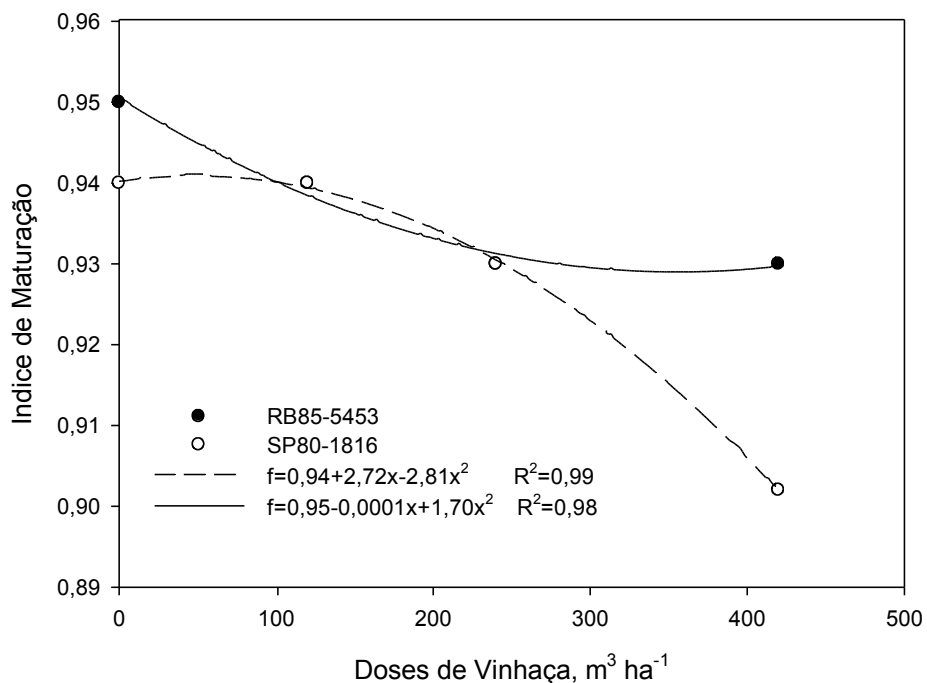
Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Índice de Maturação	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	0,95	0,94
<b>120</b>	0,94	0,94
<b>240</b>	0,93	0,93
<b>420</b>	0,93	0,92
<b>Média</b>	0,94	0,93
<b>Testemunha (KCl)</b>	0,91	0,92
<b>CV%</b>	<b>5,79</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

O gráfico 05 mostra o comportamento decrescente do índice de maturação em relação às doses crescentes de vinhaça. Silva *et al.* (1978) ressalta que locais onde são feitas aplicações de doses elevadas de vinhaça podem ocorrer problemas devido ao aumento no teor de cinzas do caldo (prejudicando a cristalização do açúcar), reduzindo a pureza do caldo, mostrando, assim, um efeito negativo da vinhaça sobre a maturação da cana-de-açúcar.

Segundo UNESP (2008), a concentração da vinhaça varia de usina para usina e, dentro de cada usina, existem variações nos diversos dias da safra e até mesmo no próprio dia, em função da moagem de diferentes variedades, com diferentes índices de maturação, provenientes de diferentes solos e de seus diferentes níveis de fertilidade.





**GRÁFICO 05** - Valores de índice de maturação, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

A riqueza da vinhaça em nutrientes varia de acordo com o tipo de mosto utilizado na destilaria, sendo a quantidade alta de potássio uma das principais razões do seu uso como fertilizante. Por conseguinte, da aplicação de vinhaça resultam efeitos benéficos no aumento da produtividade agrícola, principalmente ao solo quando este se caracteriza por apresentar baixo conteúdo de nutrientes (COELHO E AZEVEDO, 1986).

De acordo com a Tabela 09, pode-se notar que os parâmetros produtividade (t ha<sup>-1</sup>) da variedade RB85-5453 apresentaram valores superiores à variedade SP80-1816 em todos os tratamentos. O melhor rendimento foi obtido pela variedade RB85-5453, quando se utilizou a dose de 240 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de

vinhaça segundo recomendação de Ribeiro, (1999). Também para a variedade SP80-1816 o melhor rendimento obtido foi com a dose de 240 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça. Vasconcelos (1998), ao estudar o comportamento de clones e variedades de cana-de-açúcar, registrou a produtividade para a variedade RB85-5536 de 144,79 t ha<sup>-1</sup> por ocasião da colheita.

A diferença entre as produtividades das variedades estudadas no presente trabalho podem ser devido a diferenças varietais entre elas e pela adaptação das mesmas ao local de cultivo.

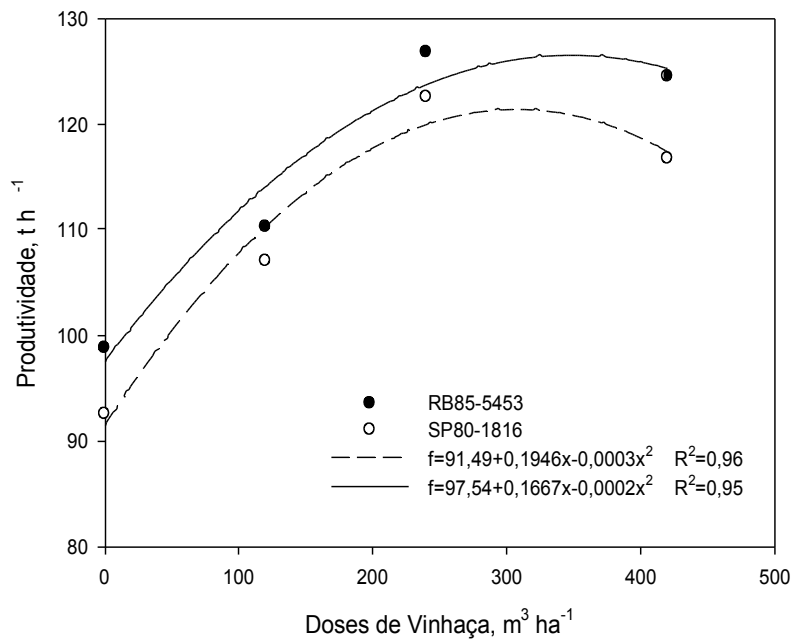
**TABELA 09** – Valores de produtividade, em toneladas por hectare, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Produtividade em t ha <sup>-1</sup>	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	98,88*	92,63*
<b>120</b>	110,33*	107,10*
<b>240</b>	126,88	122,63
<b>420</b>	124,58	116,80
<b>Média</b>	115,18	109,79
<b>Testemunha (KCl)</b>	119,03	115,55
<b>CV%</b>	<b>12,56</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

Os dados evidenciados no Gráfico 06, de comportamento quadrático em relação à produtividade com o aumento das doses de vinhaça, corroboram os de Paulino *et al.* (2002) que, ao avaliarem as produções agrícolas e industrial de cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de vinhaça (0, 150, 300, 450, 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), concluíram que os melhores resultados foram obtidos com as doses de 300 e 400 e que a aplicação de 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, maior dose, apresentou-se inviável, seja pelo aumento dos custos de produção, como pelas produtividades agrícola e

industrial inferiores às obtidas com a aplicação das doses intermediárias (PAULINO *et al.*, 2002).



**GRÁFICO 06** - Valores de produtividade, em toneladas por hectare, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Ao aplicar diferentes doses de vinhaça (0, 100, 200, 400m³ ha⁻¹) em abacaxizeiro cultivado em solo de baixo potencial de produção, De Paula *et al.* (1999) constataram aumento da produtividade, bem como da acidez dos frutos, além de elevação no teor de potássio, cálcio e magnésio trocáveis na camada de 0-20 cm, e de potássio trocável na camada de 20-40 cm, com valores proporcionais às doses aplicadas.

Esses dados convergem com os encontrados por Orlando Filho, Bittencourt e Alves (1995) que verificaram ser com a dose intermediária, 300 m³

ha<sup>-1</sup> de vinhaça, que a produção agrícola da cana aumentou. Stupiello *et al.* (1977) relataram também que doses de vinhaça entre 0 e 210 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> aumentam a produtividade da cana-de-açúcar.

Resende *et al.* (2006), ao aplicarem 80m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça, em área plantada com cana-de-açúcar, observaram incremento de 13% na produção de açúcar.

Paulino *et al.* (2002) observaram que a aplicação de 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> apresentou-se inviável pois, além de aumentar os custos de produção – maiores desgaste de máquinas, mão-de-obra e gasto com combustível –, resultou em produções agrícola e industrial inferiores às doses intermediárias.

Oliveira (2000) estudou a disposição de lodo de esgoto em latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar, nas dosagens de 37, 74 e 110 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto. A produtividade média para essas dosagens foi 33% superior à testemunha (101 t ha<sup>-1</sup>). A produtividade média para estas doses, quando comparada com o tratamento químico não revelou diferença estatística.

Ainda Oliveira (2000), no mesmo trabalho, porém usando composto de lixo na fertilização da cana-de-açúcar nas mesmas condições de solo e nas dosagens de 24, 48 e 72 t ha<sup>-1</sup>, obteve produtividade agrícola de 140, 136 e 139 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, que foram 38% superiores à testemunha (101 t ha<sup>-1</sup>).

Todavia, Campanhão *et al.* (2005) verificaram em soqueira de cana-de-açúcar que a adubação potássica, embora não tenha influenciado a produtividade de cana-de-açúcar, afetou a produtividade de colmos e conseqüentemente o pol (em t ha<sup>-1</sup>).

Penatti e Forti (1997), avaliando doses de vinhaça de 0, 100, 200 e 300 m<sup>3</sup>/há<sup>-1</sup>, obtiveram produtividade de 104,0; 107,5; 109,5 e 111 t/ha<sup>-1</sup> respectivamente. Entretanto, Rivera Pineda (1994), trabalhando com cana-de-açúcar e comparando adubação química e orgânica com torta de filtro, na Zona da Mata Mineira, verificou efeitos benéficos para a produtividade agrícola. Na

adubação orgânica com torta de filtro nas dosagens de 20, 40 e 60 t/ha<sup>-1</sup> foram respectivamente, 21%, 27% e 27% maiores que a testemunha (adubação química).

### Variáveis Químicas

De acordo com a Tabela 10, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos testados com a testemunha, mas ocorre um aumento do pH conforme o aumento das doses de vinhaça.

Sabe-se que a vinhaça é relativamente rica em matéria orgânica (BDO 16.769 mg L<sup>-1</sup>); com isso poderia se esperar tal resultado, uma vez que o aumento na concentração de MO acarreta numa redução da acidez do solo.

**TABELA 10** – Valores de pH em água, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	pH	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	5,75	5,72
<b>120</b>	5,88	5,82
<b>240</b>	5,96	5,96
<b>420</b>	6,00	6,01
<b>Testemunha (KCl)</b>	5,80	5,78
<b>CV%</b>	<b>2,46</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

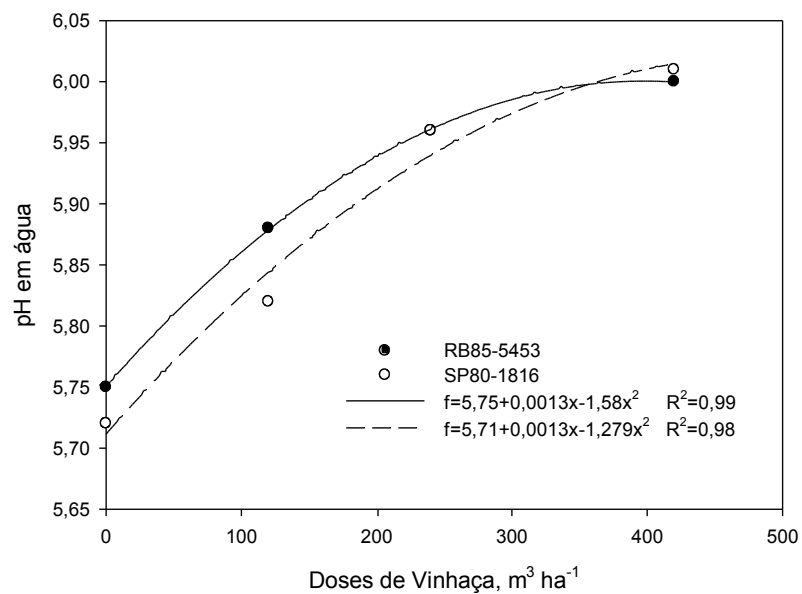
A acidez do solo é avaliada, geralmente, por meio de seu pH, determinando-se a atividade de H<sup>+</sup> em uma suspensão de solo com água ou com soluções salinas. O pH é definido como:  $\text{pH} = \log (1/(\text{H}^+))$  ou  $\text{pH} = - \log (\text{H}^+)$ , em que (H<sup>+</sup>) = atividade do H<sup>+</sup>, em mol L<sup>-1</sup>. Portanto, o pH está relacionado com

a concentração dos  $H^+$  na solução do solo, que determina a acidez ativa do solo. Deve-se ter em mente que a acidez ativa é apenas uma parte muito pequena em relação à acidez trocável ou acidez potencial do solo.

Os resultados encontrados corroboram as afirmações de Valsecchi e Gomes (1954) de que a adição de vinhaça ao solo não apenas aumenta o pH, mas também a capacidade de troca catiônica e a soma de bases.

Consoante SILVA *et al.*, 2007, sendo característica do Latossolo Vermelho Eutrófico sua fertilidade natural, no qual ocorre um grande desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela degradação do material orgânico natural ou adicionado, mesmo a vinhaça apresentando alta concentração de MO, esta se encontra na forma coloidal, o que facilita a decomposição de forma rápida pelos microrganismos. Assim, dessa intensa atividade microbiana decorre uma perda acentuada do C orgânico da vinhaça que foi adicionado ao solo, de onde se conclui que não se deve esperar efeitos persistentes ao aumento da matéria orgânica devido à adição de vinhaça.

Os resultados encontrados corroboram as afirmações de Valsecchi e Gomes (1954) de que a adição de vinhaça ao solo não apenas aumenta o pH, mas também a capacidade de troca catiônica e a soma de bases.



**GRÁFICO 07-** Teores de pH em água no solo LVE em função de doses de vinhaça.

Na tabela 11 estão apresentados os valores de concentração de cálcio e magnésio em função da dose de vinhaça aplicada e da testemunha adubação potássica mineral. Verifica-se que houve diferença das doses 0 e 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha para ambas as variedades.

A vinhaça apresenta na sua composição química, independente da origem, matéria orgânica como principal componente, seguida de potássio e cálcio (ROBAINA, 1983).

**TABELA 11** – Valores de Cálcio e Magnésio, em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	Ca		Mg	
	Variedades		Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	2,07*	2,12*	0,62*	0,58*
<b>120</b>	2,13	2,14	0,63	0,62
<b>240</b>	2,17	2,18	0,64	0,64
<b>420</b>	2,22	2,20	0,64	0,64
<b>Testemunha (KCl)</b>	2,15	2,16	0,64	0,62
<b>CV%</b>	<b>3,10</b>		<b>3,62</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

Devido à vinhaça conter quantidades significativas de Ca ( $1340 \text{ mg L}^{-1}$ ) e Mg ( $473 \text{ mg L}^{-1}$ ), sua aplicação no solo pode aumentar a disponibilidade desses nutrientes no meio.

Numa análise geral, os aumentos verificados podem ser creditados à concentração desses macronutrientes na vinhaça que, ao ser aplicada ao solo, promove a elevação nos teores de potássio, cálcio e magnésio, fato este comprovado através de vários trabalhos (COLLETI *et al.* 1983; CAMBUIM e CORDEIRO, 1986; ANDRIOLI, 1986 e CAMARGO, 1987). Porém, as relações entre esses cátions devem ser acompanhadas com cuidado, pela importância da sua disponibilidade no solo, da sua absorção e do seu aproveitamento pelas plantas (CAMARGO *et al.* 1987).

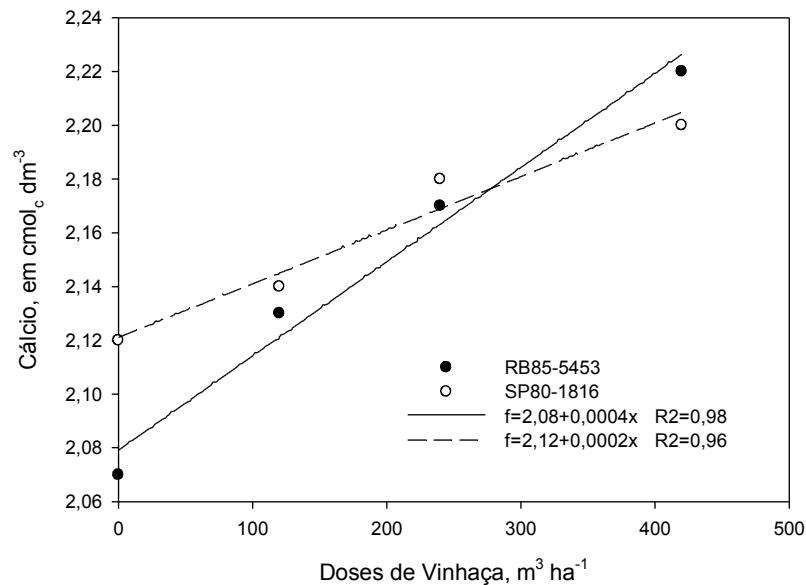
As alterações nas relações desses cátions parecem, segundo Fontes (1989), terem sido compensadas pela sua distribuição no perfil do solo. Assim, maior aprofundamento de cátions no perfil, visando à obtenção de maior desenvolvimento radicular das culturas e conseqüentemente maior resistência à seca pode ser obtido pela aplicação de vinhaça. Alterações nas relações de



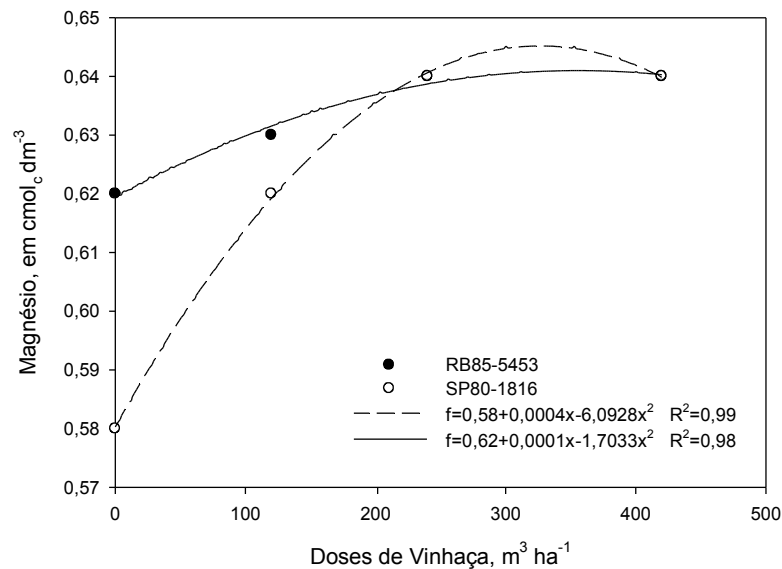
macronutrientes incluindo o cálcio e magnésio provocadas pela adição de vinhaça no solo também foram observadas por outros autores (CAMARGO *et al.* 1983, CAMARGO *et al.* 1987 e SENGIK *et al.* 1988).

Comparando-se as variedades e os respectivos valores da análise química obtida e os tratamentos com vinhaça, pode-se verificar que as tendências se mantiveram, ocorrendo apenas pequenas variações quanto à grandeza dos valores.

Com o objetivo de se avaliar a ocupação dos sítios de troca do solo com cálcio e magnésio, bem como a evolução desse acúmulo, também foi realizada análise de regressão para essas variáveis, cujos resultados estão apresentados nas figuras 08 e 09.



**GRÁFICO 08-** Concentração de cálcio no solo LVE em função de doses de vinhaça.



**GRÁFICO 09-** Concentração de magnésio no solo LVE em função de doses de vinhaça.

De acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, para a cultura da cana de açúcar é recomendada uma concentração máxima no solo de Ca+Mg de 3,5 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>, assim como um valor máximo de saturação por bases da CTC a pH7 correspondente a 60%, condições a partir das quais a absorção de outros nutrientes fica prejudicada. Conforme os resultados obtidos, nota-se que estas condições estão presentes no solo avaliado, visto que os valores de Ca+Mg se encontravam próximo a 2,79 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>.

Em relação aos teores de P apresentado na Tabela 12, observa-se que houve diferença significativa a 5% nas doses 0 e 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Ocorreu um acréscimo de fósforo à medida que se aumentaram as doses de vinhaça no presente trabalho.

**TABELA 12** – Valores de Fósforo disponível, mg dm<sup>-3</sup>, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com

vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

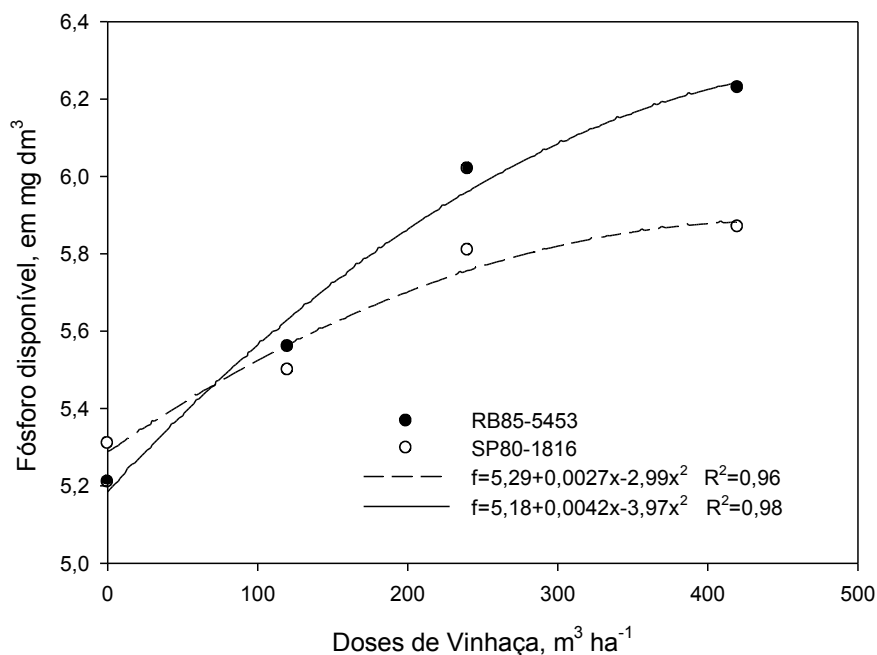
Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	P	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	5,21*	5,31*
<b>120</b>	5,46*	5,40*
<b>240</b>	6,02	5,81
<b>420</b>	6,23	5,87
<b>Testemunha (KCl)</b>	5,72	5,75
<b>CV%</b>	<b>7,90</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

O teor de P encontrado nas doses 0 e 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> está classificado como baixo, segundo Ribeiro *et al.*, (1999), sendo o teor ideal de 8,1 a 12 mg dm<sup>-3</sup>.

A quantidade de fósforo extraída pela cana-de-açúcar é pequena em relação à elevada quantidade normalmente adicionada ao solo, o que pode estar relacionado com o fato deste ser facilmente fixado na maioria dos solos ácidos tropicais aliado às características da planta (ORLANDO FILHO, HAAG e ZAMBELLO, 1980).

O efeito do P foi mais pronunciado na presença da vinhaça. Isso provavelmente se deve ao fato de que compostos orgânicos com cargas negativas presentes na vinhaça contribuíram previamente para uma neutralização de parte das cargas positivas do solo, potencializando o efeito do P.



**GRÁFICO 10** - Concentração de Fósforo no solo LVE em função de doses de vinhaça.

Conforme a Tabela 13, a concentração de K foi inferior na dose 0 para ambas as variedades, quando comparada à testemunha. Isto pode ser explicado devido a vinhaça ser rica em potássio ( $2,484 \text{ mg L}^{-1}$ ), razão porque esse elemento químico é tido como referência na definição de doses a serem aplicadas no solo (GLÓRIA, 1994; RIBEIRO et al., 1999; MATOS, 2004; UNESP, 2008).

Em vista disso, era de se esperar que sua aplicação no solo iria proporcionar aumento na sua disponibilidade no solo.

**TABELA 13** – Valores de Potássio disponível, mg dm<sup>-3</sup>, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	K	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	82,70*	84,24*
<b>120</b>	86,70	86,84
<b>240</b>	94,04	94,78
<b>420</b>	101,43	101,94
<b>Testemunha (KCl)</b>	96,37	97,11
<b>CV%</b>	<b>5,28</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

A aplicação de doses crescentes de vinhaça (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), com e sem complementação com fosfato, foi pesquisada pela COPERSUCAR (1980) quanto ao seu efeito sobre o solo e sobre a produtividade de colmos e de açúcar. Trabalhando com um Latossolo Roxo, os autores aplicaram a vinhaça com um caminhão-tanque provido de conjunto motobomba, ao longo de três anos consecutivos, no mesmo local, concluindo ao final que a fertilização da soqueira com vinhaça não alterou significativamente a composição química do solo, exceção feita para o potássio trocável cujo teor aumentou linearmente com a dosagem de vinhaça aplicada.

Peles (2007), estudando a influência de rejeito suíno e gesso na produção de cana-de-açúcar, constatou que a perda de potássio na forma solúvel foi cerca de 2 vezes maior para a dose máxima de dejetos em relação a uma dose de 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, tanto para os tratamentos que receberam gesso quanto aqueles que não receberam.

A evolução do acúmulo no solo pode ser evidenciada na Figura 11 onde está apresentada a concentração de potássio em função das doses de vinhaça aplicadas.

Em estudos realizados em cana-de-açúcar por Orlando Filho, Haag e Zambello (1980), o potássio foi o nutriente extraído em maior quantidade, tanto na cana-planta como na cana-soca. A ordem de extração de macronutrientes tanto para cana-planta como para cana soca foi:  $K > N > Ca > Mg > p$ .

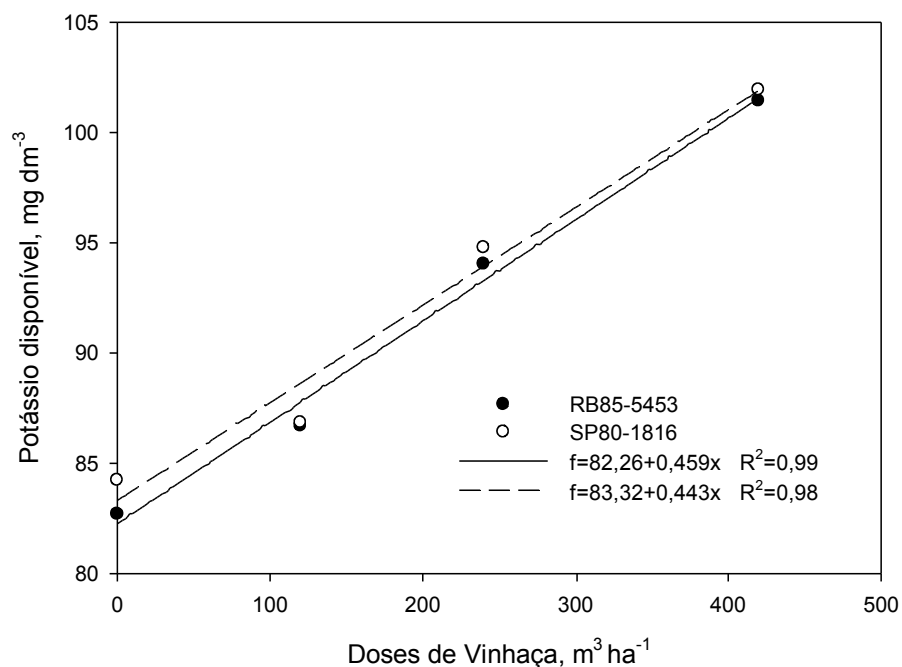
Segundo Orlando Filho *et al.* (1980), os nutrientes exportados em maiores quantidades pela cana-planta foram o nitrogênio e o potássio, sendo o fósforo removido em menor quantidade e que o cálcio apresentou valores bem maiores na cana-planta que na cana-soca.

A absorção de um dado elemento pode ser influenciada pela presença de outro e a sua inibição trata da diminuição da quantidade de um elemento absorvido devido à presença de outro. Todavia, quando os dois elementos combinam com o mesmo sítio do carregador, diz-se que ela é competitiva, tendo como exemplo tradicional a inibição competitiva dada por altas concentrações de K no meio e seu efeito na absorção do Ca e Mg, que podem causar quedas na produção (MALAVOLTA, 1980).

Penatti *et al.* (1988), estudando dois solos diferentes, um Latossolo Vermelho-Amarelo, fase arenosa, com 9,3% de argila, e um Latossolo Roxo de textura argilosa, com 57,0% de argila, os quais receberam doses crescentes de 0, 50, 100 e 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça complementada com 0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, de nitrogênio, obtiveram aumento nos teores de potássio em função da incorporação de vinhaça.

A aplicação de doses crescentes de vinhaça (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), com e sem complementação com fosfato, foi pesquisada pela COPERSUCAR (1980) quanto ao seu efeito sobre o solo e sobre a produtividade de colmos e de açúcar. Trabalhando com um Latossolo Roxo, os autores aplicaram a vinhaça com um caminhão-tanque provido de conjunto motobomba, ao longo de três anos consecutivos, no mesmo local, concluindo ao final que a fertilização da soqueira com vinhaça não alterou significativamente a

composição química do solo, exceção feita para o potássio trocável cujo teor aumentou linearmente com a dosagem de vinhaça aplicada.



**GRÁFICO 11-** Concentração de Potássio no solo LVE em função de doses de vinhaça.

Ressalta-se que a Deliberação Normativa COPAM nº12/86 estabelece em 300 m³ ha⁻¹ a taxa de aplicação para vinhaça proveniente de caldo misto, independente das características do solo, o que corresponderia a uma ocupação de potássio, nos sítios de troca, equivalente a 12,41% em Latosso vermelho eutrófico. Esta condição é indicadora de não sustentabilidade técnica e ambiental da prática nessas classes de solo. Considerando que essa classe é dominante na região de avanço no cultivo da cana-de-açúcar e da produção de álcool no Estado de Minas Gerais, fica clara a inadequabilidade da legislação ora

em vigor para nortear a aplicação de vinhaça no solo. Entende-se ser urgente que se faça uma revisão da legislação, de tal forma que, tal como proposto pela CETESB, as doses corretivas a serem aplicadas em cada área sejam definidas com base num limite máximo de saturação do complexo de troca com potássio.

Isso proporcionaria, além de resguardar a qualidade do solo e das águas subterrâneas, maior facilidade para monitoramento das áreas receptoras de vinhaça pois, por meio de simples acompanhamento de análises de rotina do solo, poder-se-ia avaliar se a aplicação segue os padrões estabelecidos.

Na Tabela 14 estão apresentados os valores de soma de bases, onde estes não obtiveram diferença significativa quando comparados com a testemunha (KCl), mas observa-se um leve acréscimo nas doses com 240 e 420 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça. Soma dos teores de Ca, Mg e K, três importantes nutrientes para as plantas. Quanto maior a soma de bases, maior a fertilidade do solo.

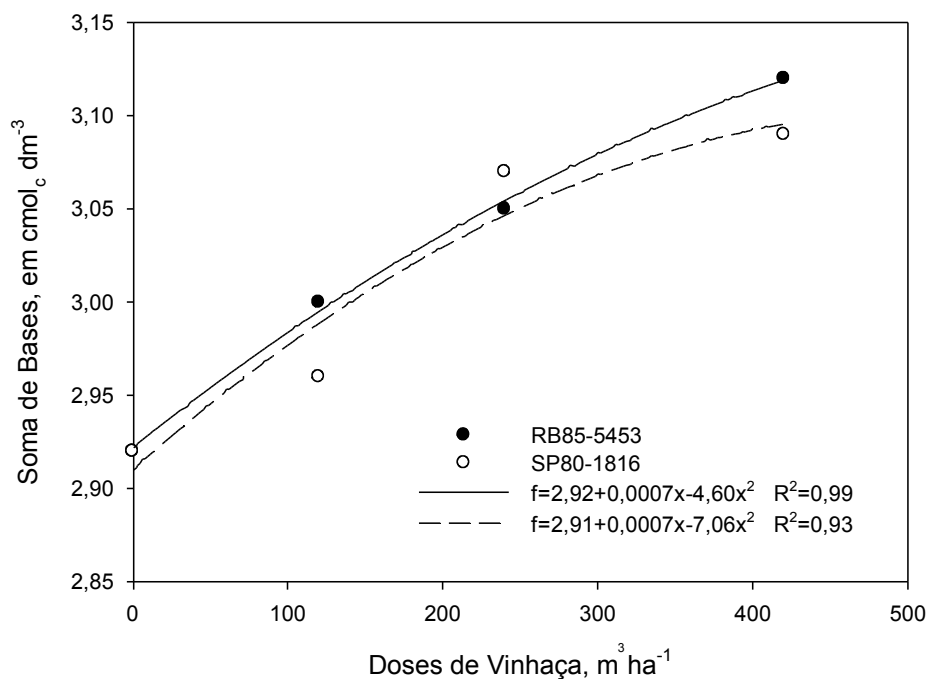
**TABELA 14** – Valores de Soma de Bases, cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	SB	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	2,92	2,92
<b>120</b>	3,00	2,96
<b>240</b>	3,05	3,07
<b>420</b>	3,12	3,09
<b>Testemunha (KCl)</b>	3,02	3,00
<b>CV%</b>	<b>3,54</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

A soma de bases trocáveis dá uma indicação do número de cargas negativas que estão ocupadas por bases nos colóides do solo.





**GRÁFICO 12-** Concentração de Soma de Bases, em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  no solo LVE em função de doses de vinhaça.

Na Tabela 15 estão apresentados os valores CTC potencial, em que houve diferença significativa da dose  $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , quando comparada com a testemunha. Observa-se aumento na CTC potencial nas maiores doses de vinhaça.

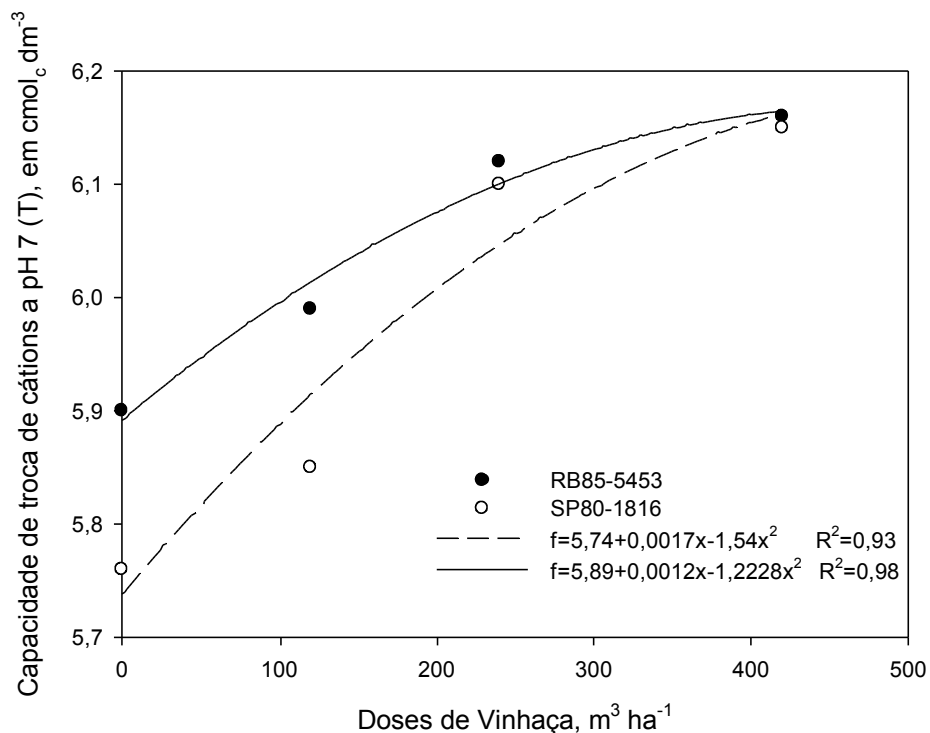
A importância da Capacidade de Troca de Cátions é devido quantificar Quantidade de cátions (Al, H, Ca, Mg e K) que o solo é capaz de reter.

A CTC a pH 7,0 (T) diferencia-se da CTC efetiva a pH natural (t), pois ela inclui o H. O íon H encontra-se em ligação covalente, muito forte, com os óxidos de ferro e alumínio, e o oxigênio (O) dos radicais orgânicos.

**TABELA 15** – Valores de capacidade de troca de cátions (CTC potencial),  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	CTC potencial	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	5,90*	5,76*
<b>120</b>	5,99	5,85
<b>240</b>	6,12	6,10
<b>420</b>	6,16	6,15
<b>Testemunha (KCl)</b>	6,04	5,97
<b>CV%</b>	3,12	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)



**GRÁFICO 13-** Concentração de Capacidade de troca de cátions a pH 7, em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no solo LVE em função de doses de vinhaça.

O aumento na CTC potencial poderia ser creditado, em grande parte, à adição de bases ao solo, pois os valores mais elevados foram apresentados nos tratamentos 240 e 420 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> o que pode ser devido a maiores teores de matéria orgânica presente nestes tratamentos.

Na Tabela 17 estão apresentados os valores de saturação por bases, onde não houve diferença significativa entre os tratamentos. A saturação por bases é a proporção de T que é ocupada por bases. Quanto maior o valor de V, mais fértil é o solo.

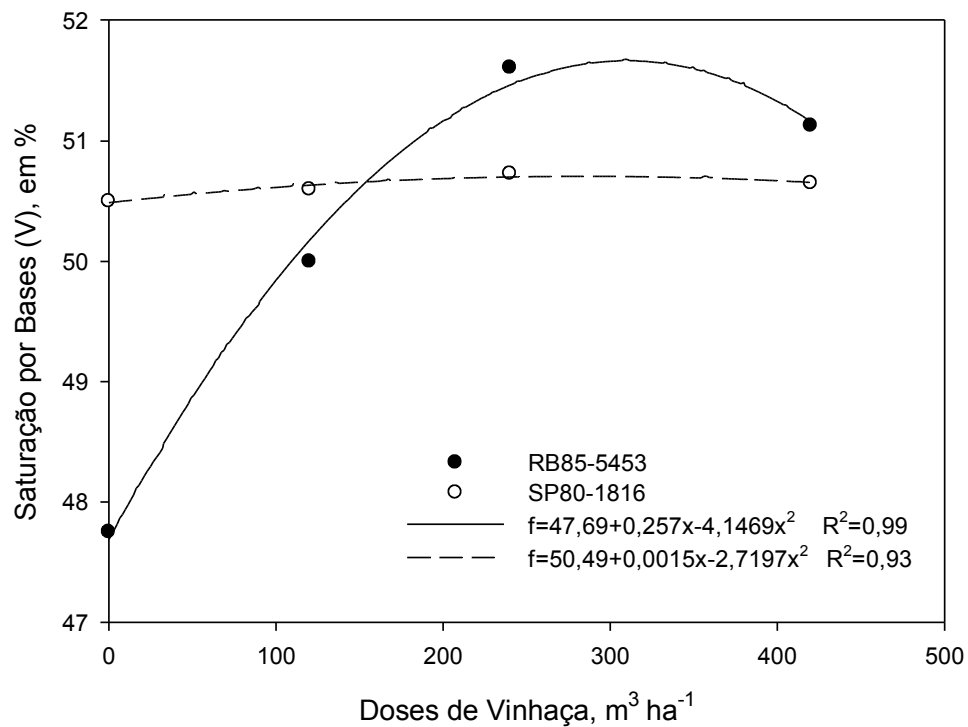
Vários Estados brasileiros utilizam o V% para recomendar a quantidade de calcário a ser aplicada ao solo, pelo método de elevação de bases.

**TABELA 17** – Valores de saturação por bases, em porcentagem, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	V	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	47,75	50,50
<b>120</b>	50,00	50,60
<b>240</b>	51,61	50,73
<b>420</b>	51,13	50,65
<b>Testemunha (KCl)</b>	50,12	50,62
<b>CV%</b>	<b>3,37</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

Quanto maior a quantidade de bases trocáveis, maior a saturação por bases (V) e concomitantemente maior o valor do pH do solo, uma vez que existe correlação entre pH e V.



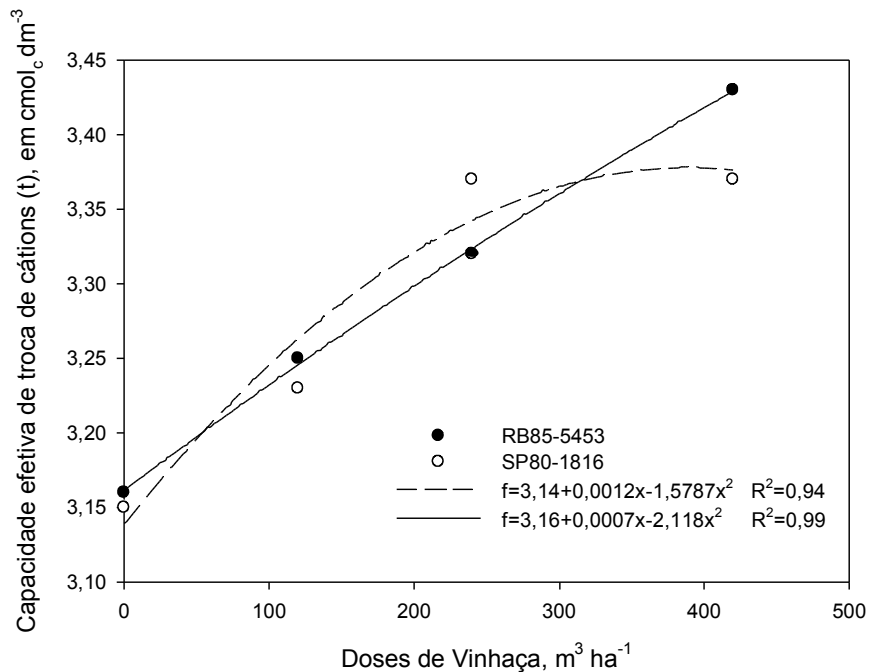
**GRÁFICO 14-** Concentração de saturação por bases, em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no solo LVE em função de doses de vinhaça.

Conforme se observa na Tabela 18, houve diferença significativa para t na dose  $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , quando comparada com a testemunha. Esta nos informa a capacidade efetiva de um solo em reter cátions próximos do seu pH natural.

**TABELA 18** – Valores de capacidade efetiva de troca de cátions (t), em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	t	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	3,16*	3,15*
<b>120</b>	3,25	3,23
<b>240</b>	3,32	3,37
<b>420</b>	3,43	3,37
<b>Testemunha (KCl)</b>	3,29	3,28
<b>CV%</b>	<b>3,87</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)



**GRÁFICO 15-** Concentração de capacidade efetiva de troca de cátions, em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  no solo LVE em função de doses de vinhaça.

Para os teores de saturação por alumínio, ocorreu diferença significativa na dose 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em comparação com a testemunha. A saturação por Al<sup>+3</sup> é um indicador do grau de toxidez do Al<sup>+3</sup> para as plantas. Assim, se dois solos têm o mesmo teor de Al<sup>+3</sup>, naquele com maiores teores de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> e, portanto, menor saturação por Al<sup>+3</sup>, a toxidez para as plantas será menor.

**TABELA 19** – Valores de saturação por Alumínio, em porcentagem, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

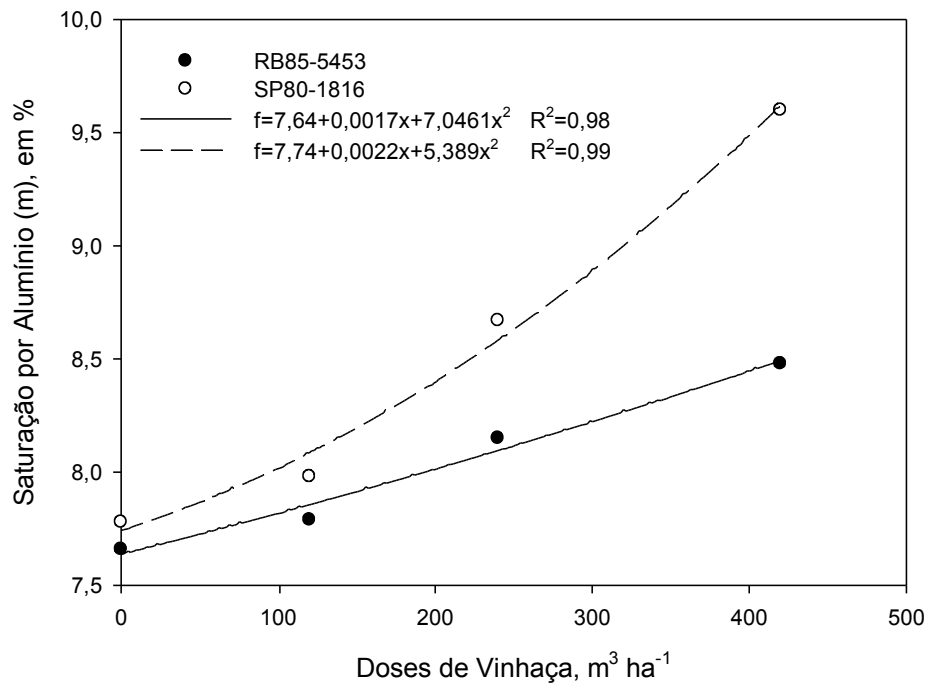
Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	m	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	7,66*	7,78*
<b>120</b>	7,79	7,98
<b>240</b>	8,15	8,67
<b>420</b>	8,48	9,60
<b>Testemunha (KCl)</b>	8,02	8,51
<b>CV%</b>	7,27	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

Dada a necessidade de se adaptarem às condições locais do solo com elevada acidez, as plantas desenvolveram mecanismos de tolerância ao Al. Como exemplo de diferenças entre plantas, podem-se mencionar a alfafa, que apresenta muito baixa tolerância ao Al, e a samambaia ou o chá, que sobrevivem com alto teor de Al. Essa variabilidade de reação a concentrações tóxicas de Al e Mn existe entre espécies de plantas e entre variedades dentro da mesma espécie (FURLANI, 1983).

A característica das plantas relacionada com a tolerância à acidez pode ser utilizada como aliada para o seu cultivo em regiões onde o calcário tem custo

elevado ou que apresentem subsolos muito ácidos, principalmente se associados à ocorrência de veranicos.



**GRÁFICO 16-** Concentração de saturação por alumínio, em % no solo LVE, em função de doses de vinhaça.

A percentagem de saturação por Al é, também, um bom indicador da acidez do solo e seu efeito sobre as plantas. O trabalho de Gonzalez Eurico (1976) demonstra que, acima de pH 5,4, os níveis de saturação por Al (m) foram inferiores a 10% na camada de 0,15cm. A concentração de Al na solução do solo depende do pH do solo, da saturação por Al, do teor de matéria orgânica e da presença de outros íons na solução do solo.

Na Tabela 20 observam-se os valores da acidez potencial, onde não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos testados.

A acidez potencial refere-se à quantidade de formas trocáveis e não trocáveis desses íons no solo. Usualmente, a determinação da acidez extraída com um sal tamponado a pH 7,0, como o acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, caracteriza a acidez potencial do solo (H + Al). Essa acidez potencial inclui H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> adsorvidos em forma eletrovalente, bem como os íons H ligados covalentemente que se dissociam de compostos orgânicos, de grupos OH na superfície das argilas, e de alguns polímeros de Al.

A acidez trocável é determinada pela diferença entre a acidez potencial e a trocável.

O valor de H+Al pode ser considerado uma medida da capacidade tampão de acidez, e tem estreita correlação positiva com o teor de matéria orgânica e o teor de argila no solo.

**TABELA 20** – Valores de Acidez Potencial, em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

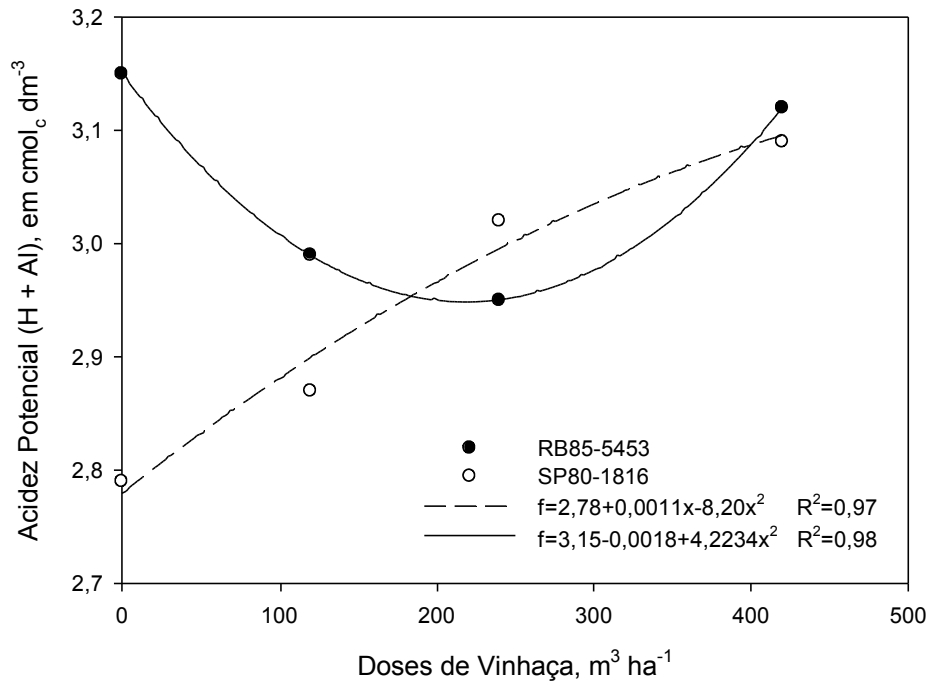
Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	H + Al	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	3,15	2,79
<b>120</b>	2,99	2,87
<b>240</b>	2,95	3,02
<b>420</b>	3,12	3,09
<b>Testemunha (KCl)</b>	3,05	2,94
<b>CV%</b>	<b>6,18</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

Dos elementos componentes da acidez do solo, o H é essencial, ou seja, as plantas necessitam dele para seu crescimento; entretanto, o H é absorvido na forma de água da solução do solo; os outros, o Al e o Mn, são elementos que,



em excesso, são tóxicos. Assim, para o estudo dos prejuízos da acidez dos solos deve-se considerar os efeitos diretos e indiretos da acidez, principalmente devido a acidez ativa (pH) e o efeito do excesso de Al e Mn.



**GRÁFICO 17-** Teores de Acidez potencial, em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  no solo LVE em função de doses de vinhaça.

Na Tabela 21 nota-se que houve diferença significativa nos valores de  $\text{Al}^{+3}$  para as doses 0 e  $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para a variedade SP80-1816 e na dose  $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para a variedade RB85-5453.

O alumínio constitui importante componente da acidez dos solos. A reação de hidrólise do  $\text{Al}^{+3}$  em solução contribui significativamente para a capacidade tampão do pH dos solos. Além disso, o Al e o Mn, quando presentes em altas concentrações no solo, podem ser tóxicos às plantas, constituindo uma das principais limitações agrícolas em solos ácidos.

**TABELA 21** – Valores de Acidez Trocável, em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	$\text{Al}^{+3}$	
	Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	0,24*	0,24*
<b>120</b>	0,25	0,26*
<b>240</b>	0,27	0,29
<b>420</b>	0,29	0,32
<b>Testemunha (KCl)</b>	0,26	0,28
<b>CV%</b>	<b>6,17</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*).

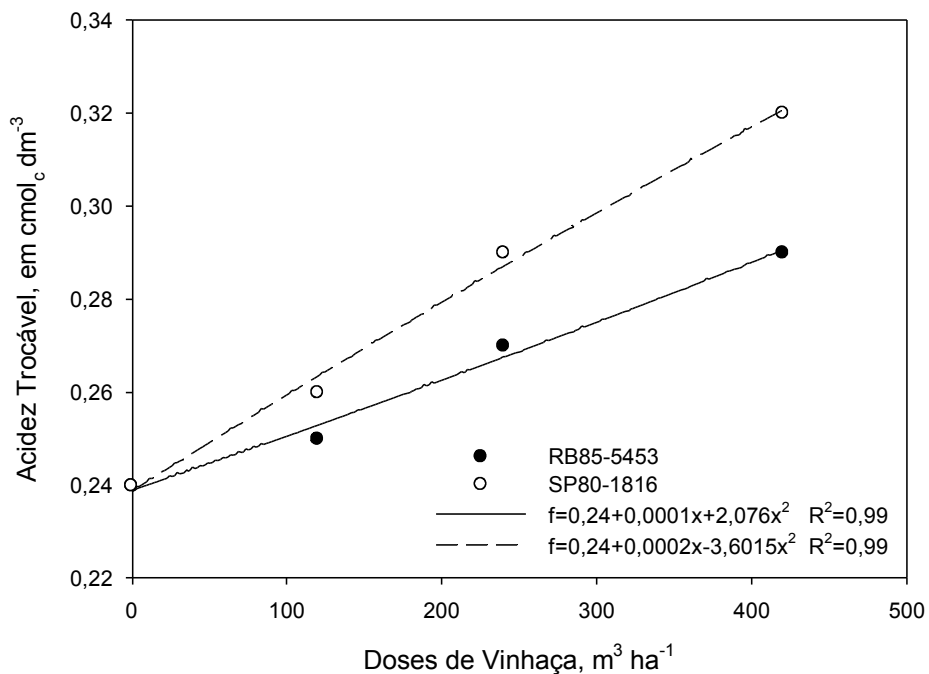
Como em muitos solos, o teor de  $\text{H}^+$  trocável é muito pequeno se indica o resultado de acidez trocável como sendo o teor de  $\text{Al}^{+3}$  trocável. Entretanto, em solos muito ácidos ou com altos teores de matéria orgânica, o teor de  $\text{H}^+$  pode ser importante, pode até ser maior que o teor de  $\text{Al}^{+3}$ .

A toxidez causada por elevados teores de  $\text{Al}^{+3}$  depende não só de seu teor, mas deste em relação à CTC efetiva do solo, que é a saturação por  $\text{Al}^{+3}$  (m).

A acidificação dos solos ocorre, de modo especial, em regiões tropicais úmidas e deve-se à substituição das "bases trocáveis" por íons  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+3}$  no complexo de troca. Esta substituição resulta da percolação da água lixiviando bases trocáveis, absorção de cátions básicos pelas plantas e, também, pelo uso de fertilizantes de caráter ácido.

Deve-se salientar que os íons  $\text{H}^+$  estão sendo continuamente produzidos no solo, seja pela mineralização de compostos orgânicos e produção de  $\text{CO}_2$ , seja pelo intemperismo dos silicatos de Al que libera  $\text{Al}^{+3}$  em solução.

O conjunto desses fatores conduz, portanto, à acidificação progressiva dos solos, particularmente em regiões tropicais com precipitações que favoreçam a percolação e lixiviação.



**GRÁFICO 18-** Teores de Acidez trocável, em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  no solo LVE em função de doses de vinhaça.

Os resultados do carbono orgânico estão apresentados na Tabela 22, onde não houve diferença significativa entre os tratamentos testados com a testemunha, sendo que ocorre acréscimo de CO com o aumento das doses de vinhaça.

Segundo Matos (2004), de forma geral, as principais alterações advindas da aplicação de águas residuárias no solo costumam ser químicas, as quais, por sua vez, podem vir a proporcionar alterações físicas no solo. Para que os benefícios da incorporação da matéria orgânica sejam percebidos no solo, torna-

se necessária a aplicação de grandes quantidades e com bastante frequência (MATOS, 2006).

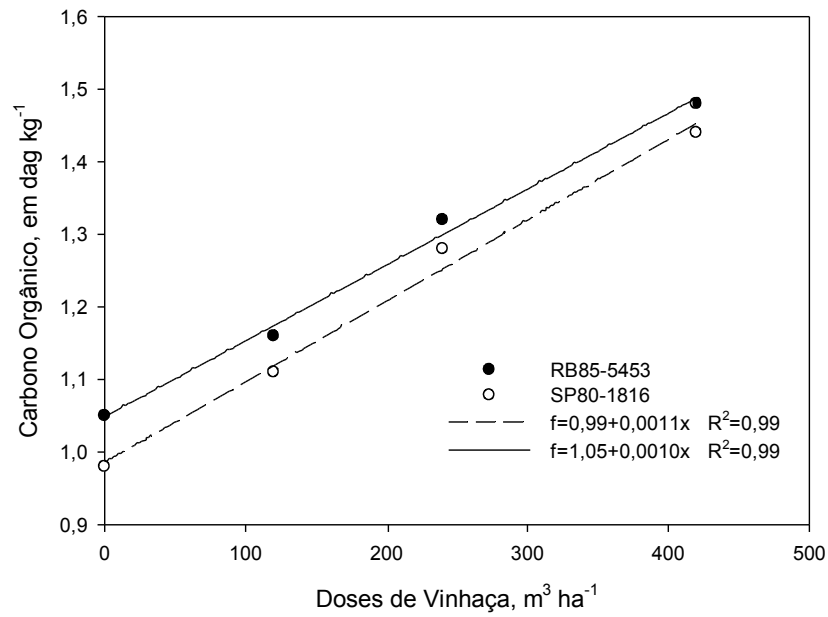
**TABELA 22** – Valores de Carbono Orgânico, em dag kg<sup>-1</sup>, considerando duas variedades de cana-de-açúcar, quatro níveis de adubação com vinhaça e uma adubação potássica mineral. UNIMONTES, Janaúba (MG), 2010.

Tratamento m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Carbono Orgânico Variedades	
	RB85-5453	SP80-1816
<b>0</b>	1,05	0,98
<b>120</b>	1,16	1,11
<b>240</b>	1,32	1,28
<b>420</b>	1,48	1,44
<b>Testemunha (KCl)</b>	1,08	0,95
<b>CV%</b>	<b>6,17</b>	

Médias que diferem significativamente da testemunha em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet (\*)

Em geral, solos argilosos apresentam riqueza em matéria orgânica (VAN RAIJ, 1991). A vinhaça é relativamente rica em MO, com isso poderia se esperar aumento no conteúdo de MO. Como pode ser observado pelo Gráfico 19, os resultados da análise de variância indicaram que a concentração do Carbono orgânico apresenta alterações causadas pelas doses crescentes de vinhaça aplicada para ambas as variedades.

Resultados semelhantes foram obtidos por Sengik (1983) ao aplicar doses de vinhaça (0, 50, 100, 200 e 400 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo e em um Podzólico Vermelho-Amarelo incubadas durante 30 dias. O autor constatou aumento no teor de carbono orgânico no LVd apenas com a dose de 400 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.



**GRÁFICO 19-** Concentração de Carbono orgânico, em dag kg<sup>-1</sup> no solo LVE em função de doses de vinhaça.

## 5. CONCLUSÕES

A variedade RB85-5453 possui a melhor produtividade para a região estudada.

A adubação com vinhaça na dose de 240 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> proporciona a maior produtividade para ambas as variedades.

Há alteração no conteúdo de carbono orgânico com a aplicação das doses de vinhaça.

A concentração de potássio, cálcio e magnésio trocáveis aumenta com as doses de vinhaça aplicadas.

Com base nos valores obtidos de concentração de potássio trocável com aplicação de vinhaça no solo, recomenda-se reavaliação da legislação ambiental vigente, relativa ao assunto, tendo em vista que existe grande risco para a qualidade do solo e das águas subterrâneas caso os valores limites estabelecidos na DN COPAM n.º 012/86 continuem a ser praticados nas doses de vinhaça aplicadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA CANA-DE-AÇÚCAR. Safra 2009/2010. Terceiro levantamento, dezembro/ 2009. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: Conab, 2009.

ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26 p. Boletim Técnico, 6.

ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**: a comprehensive study of the Saccharum source-to-sink system. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.

ALMEIDA, B. A. D. L.; BARRETO, G. F. B.; GONÇALVES, C. M. N. Resíduos da agroindústria canavieira na Estado de Minas Gerais: usos e conservação ambiental. **Informe Agropecuário**, v. 28, n. 28, p. 96-100, jul./ago. 2007.

AMADO, T.J.C. Manejo da palha, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – harmonia do homem com a natureza, desafio do 3º milênio, 7, 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000. p. 105-111.

ANDERSON, D. L.; BOWEN, J. E. **Nutrição da cana-de-açúcar**. Piracicaba: POTAFOS, 1992.

ANDRADE, A. L. B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. (Ed.). **Produção de aguardente de cana**. 2. Ed. Lavras: UFLA, 2006. P. 25-67.

\_\_\_\_\_.; CARDOSO, M. B. **Cultura da cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004.

ANDRIOLI, I. **Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho Escuro textura média.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 86 p.

AZEVEDO, M.C.B. **Preparo do solo para plantio de cana-de-açúcar em latossolo vermelho eutrófico.** 2004. 45p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

BENEDINI, M. S. **Novo conceito no uso de calcário em cana-de-açúcar.** Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1988. 19 p. (Série Agrônômica, 16).

BRAIDA, J. A., J REICHERT, M. J., VEIGA, M., REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p.605-614, 2006.

CAMARGO, D. A. et al. **Alteração das características químicas de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico causada pela aplicação da vinhaça.** Campinas: IAC, 1987. 23 p. Boletim Científico, 9.

\_\_\_\_\_. **Características químicas e físicas de um solo que recebeu vinhaça por longo tempo.** Campinas: IAC, 1983. 30 p. Boletim Técnico, 76.

CAMBUIM, F. A.; CORDEIRO, D. A. Ação da vinhaça sobre o pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso. **STAB**, Piracicaba, v. 4, n. 4, p. 27-33, 1986.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI, 2007. p. 356-412.

CANELLA, L.P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p.935-944, 2003.



CAMPANHÃO, J. M. et al. Manejo da soqueira da cana-de-açúcar submetida a queima acidental da palhada remanescente da colheita mecanizada. **STAB**, Piracicaba, v. 23, n. 4, p. 33- 37,2005.

CAMARGO, D. A. et al. **Alteração das características químicas de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico causada pela aplicação da vinhaça**. Campinas: IAC, 1987. 23 p. Boletim Científico, 9.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: UNESP/FUNEP, 1991. 15p. Boletim Científico.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. Melhoramento da cana-de-açúcar. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004. 307p.

COELHO, M. B.; AZEVEDO, H. J. Utilização da vinhaça na irrigação da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.4, n.5, p. 29-32, 1986.

COLLETI, J. T. et al. Efeito da aplicação da vinhaça nas propriedades dos solos da Usina São José-Macatuba. **STAB**, Piracicaba, v. 1, p. 12-7, 1983.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. 359p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO. **Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. São Paulo, 2006. p. 1-12.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Norma técnica P4.231**. São Paulo, 2005.

CONAB. **Cana-de-açúcar**. Disponível em:  
<<http://www.conab.gov.br/conab/>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

COOPERSUCAR. Aplicação de vinhaça à soqueira da cana-de-açúcar em três anos consecutivos. **Boletim Técnico Copersucar**, Piracicaba, n. 12, p. 2-5, 1980.

CORRÊA, J. B. D. et al. Efeito da compactação na concentração foliar de nutrientes na cana-de-açúcar em três tipos de solos. In: FERTBIO, 1998, Lavras. **Anais...** Lavras, MG: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p. 91.

DE PAULA, M. B.; HOLANDA, F. S. R.; MESQUITA, H. A.; CARVALHO, V. D. Uso de vinhaça no abacaxizeiro em solo de baixo potencial de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 7, p. 1217-1222, 1999.

DIAS, W.O.B. **Comportamento de diferentes variedades de cana-de-açúcar no Norte de Minas sob condições de irrigação**. 41p. Monografia (graduação em Agronomia) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2006.

DIAS JÚNIOR, M. S., PIERCE, F. J. O. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 175-182, 1996.

DOELSCH, E.; MASON, A.; CAZEVIELLE, P.; CONDOM, N. Spectroscopic characterization of organic matter of a soil and vinasse mixture during aerobic or anaerobic incubation. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 6. p. 1929-1935, 2009.

ELAWAD, S. H.; GASCHO, G. J.; STREET, J. J. Response of sugarcane to silicate source and rate: I growth and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 481-483, 1982.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução de E. Malavolta. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos / São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975. 344p.

ELIAS NETO, A.; NAKAHADO, T. **Caracterização físico-química da vinhaça-projeto nº 9500278**: Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia Copersucar. Piracicaba, 1995, 26 p.

ERNANI, P. R.; MIQUELLUTI, D. J.; FONTOURA, S. M. V.; KAMINSKI, J. e ALMEIDA, J. A. Downward movement of soil cations in highly weathered soils caused by addition of gypsum. *Comm. Soul Sci. Plant Anal.*, 37, p. 571-586, 2006.

FERNANDES, J. Observações sobre o sistema radicular da cana de açúcar. **Alcool e Açúcar**, v.25, n.23, p.51-52, 1985.

FERREIRA, G.D. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows 4.0. In: **Anais da Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**. 45. UFSCar: São Carlos, 2000. p.255-258.

FONTES, L. E. F. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Escuro de Goianésia, GO, cultivado com cana-de-açúcar e irrigado com vinhaça**. 1989. 76 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1989.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004, p. 40-75.

GHELLER, A. C. A. Et al. **Manual de método alternativo para medição da produção da cana-de-açúcar**. Araras: UFSCar-CCA-DBV. 1999. 7p. il.

GLAZ, B. et al. Sugarcane cultivar response to high summer water tables in the Everglades. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 624-629, 2002.

GLÓRIA, N. A. Utilização racional dos resíduos da agroindústria sucroalcooleira e seus efeitos na produtividade da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIAS DE MANEJO DE SOLO E

ADUBAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1, 1994, Ribeirão Preto. **Anais...**  
Ribeirão Preto: SOPRAL/SUCRESP/ALCOOPLAN/ASSISTE, 1994. p.  
121-146.

\_\_\_\_\_.; da. Efeito do potássio na acumulação de sacarose pela cana-de-  
açúcar. **Álcool e Açúcar**, São Paulo, v. 5, n. 23, p. 20-25, 1985.

\_\_\_\_\_.; ORLANDO FILHO, J. Determinação de nitrogênio, fósforo e  
potássio em tecido vegetal e vinhaça por digestão sulfúrica. **Brasil  
Açúcareiro**, Rio de Janeiro, v. 88, n. 4, p. 298-304, 1975.

HUMBERT, R. P. **The growing of sugar cane**. Amsterdam: Elsevier, 1968.  
779 p.

IDO, O. T. **Desenvolvimento radicial e caulinar, de três variedades de  
cana-de-açúcar em Rizotron, em dois substratos**. 2003. 141 p. Tese  
(Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal)-Universidade Federal do  
Paraná, Curitiba, 2003.

INMET. **Climatologia**: mapas de condições registradas. Disponível em:  
<<http://www.inmet.gov.br/climatologia/ger-mapa11.php>>. Acesso em: 10  
ago. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.  
Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 10 de out. 2009.

KONDO, M. K., DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três latossolos  
em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,  
Viçosa, v. 23, p. 211-218, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. O Potássio na cultura da cana-  
de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na  
agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2005. P. 469-490.

\_\_\_\_\_.; RIBEIRO, A. C.; ANDRADE, L. A. de B. Cana-de-açúcar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 285-288.

\_\_\_\_\_.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 70, p. 1-3, 1995.

\_\_\_\_\_.; ALCARDE, J. C. Acúmulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 217-222, 1992.

LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; MACIEL JUNIOR, V. A. Parcelamento da adubação potássica na cana-planta. **STAB**, Piracicaba, v. 23, n.2, p. 28-31, 2004.

LANDELL, M. G. de. A. Cana Sustentável. **Revista Campo Aberto**, Canoas, 90 ed., ano 23, 2007.

LEITE, G.F. Avaliação econômica da adubação com vinhaça e da adubação mineral de soqueiras de cana-de-açúcar na Usina Monte Alegre Ltda. – Monte Belo-MG. **Revista da Universidade de Alfenas**, Alfenas, v. 5, p.189-181, 1999.

MACHADO, E. C. et al. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MALAVOLTA, E. **Fertilizing for high yield sugarcane.** Basel: International Potash Institute, 1994. 104 p. Boletim 14.

\_\_\_\_\_. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MANHÃES, M. S.; SOUZA, D.; BERTO, P. N. A. Acúmulo de potássio em solos de áreas canavieiras fertirrigadas no norte fluminense. **Agronomia, Seropédica**, v. 37, n. 1, p. 64-68, 2003.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais/UFV, 2004. 144 p. Caderno Didático.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais/UFV, 2006. 120 p. Caderno Didático.

MEDINA, N.; ALVAREZ, F.; TORRES, W. La fertilizacion fosfórica y el crecimiento y desarrollo de la cana de azucar (*Saccharum spp.*) I. Dinâmica del crecimiento em la cepa de cana planta. **Cultivo Tropical**, la Habana, v. 12, n. 1, p. 21-28, 1991.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MEYER, B; S.; ANDERSON, D. B.; BOHNING, R. H.; FRATIANNE, D. G. **Introduction to plant physiology**. New York: D. Van Nostrand Company, 1973. 565 p.

MIOCQUE, J. Avaliação de crescimento e de produtividade de matéria verde da cana-de-açúcar na região de Araraquara, SP. **ETAB**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 45- 47, 1999.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. De S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. De S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP2, 2006. p.225-238.

NAPOLEÃO, B. A. Cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.28, n.239, 120p, 2007.

NOVAIS, R. F., SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa., MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, C. V. *et al.* Química e mineralogia de solos derivados de rochas do Grupo Bambuí no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.583-593, 1998.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 247 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, M. W. de. *et al.* Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.28, n.239, p.30-43, 2007.

\_\_\_\_\_.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; MORTATTI, J. Leaching of nitrogem, potassium, calcium, magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 861-868, 2002.

ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 10-16, 1977.

\_\_\_\_\_.; BITTENCOURT, V. C.; ALVES, M. C. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. **STAB**, Piracicaba, v. 13, n. 6, p. 14-16, 1995.

\_\_\_\_\_.; SILVA, G. M. A.; LEME, E. J. A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canavieira. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e Adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. cap. 10, p. 229-264. (Coleção Planalsucar, 2).

\_\_\_\_\_.; HAAG, H. P.; ZAMBELLO, JR. E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar. Variedade CB 41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo. **Boletim Técnico PLANASUCAR**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 1-128, fev. 1980.

PAULINO, A. F. et al. Produções agrícola e industrial de cana-de-açúcar submetida a doses de vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 145-150, jul./dez. 2002.

PEOPLES, T. R.; KOCH, D. E. Role of potassium in carbon dioxide assimilation in Medicago sativa1. **Plant Physiology**, Rock Ville, v. 63, p. 878-881, 1979.

PELES, D. **Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquidos de suínos**. 2007. 84 p. Dissertação (Mestrado na área de Ciência do Solo)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PENATTI, C. P. et al. Efeitos da aplicação da vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v. 44, p. 32-38, 1988.

\_\_\_\_\_.; FORTI, J. A. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1997. p. 328-339.

PFLUGER, R.; MENGEL, K. The photochemical activity of chloroplasts obtained from plants with a different potassium nutrition. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 36, n. 3. p. 417-425, 1972.

PIMENTEL, M. S. Agroenergia. **Panorama Rural**, São Paulo, ano 9, n. 104, set. 2007.

PRADO, R. M. et al. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alfaca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 539-546, 2002.



\_\_\_\_\_.; FERNANDES, F. M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 287-296, 2003.

\_\_\_\_\_.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, v.57, p.739-744, 2000.

PREZOTTI, L. C.; DEFELIPO, B. V. Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 109-114, 1987.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, scoots mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane. **J. Agronomy e Crop Science**, Berlim, v. 185, p. 249-258, 2000.

RESENDE, A.S. *et al.* Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p.937-941, 2006.

REZENDE, M. A. et al. Estudo do crescimento do sistema radicular do feijoeiro sob diferentes níveis de compactação, resistência mecânica e umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. (Eds.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.

RIVERA PINEDA, P. A. **Características químicas do solo e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar, em resposta a aplicação de corretivos e fertilizantes**. 1994. 72 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

ROBAINA, A. A. Doses complementares mineral da vinhaça em socas de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**. São Paulo. P. 26-33, 1983.

ROSSIELLO, R. O. P. **Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (saccharum, SSP, Na 56-57) em resposta a adubação nitrogenada em Cambissolo**. 1987. 172 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE – SAS. **User's guide, version 6.11**. 4 ed. Cary, 2003. v. 2, 842 p.

SÁ, M. A. C. **Energia ultrassônica, uso e erodibilidade de solos**. 2002. 95 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, LAVRAS.

SENGIK, E.; RIBEIRO, A. C.; CONDÉ, A. R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 11-15, 1988.

SENGIK, E. **Efeitos da vinhaça sobre o solo e consequência sobre o crescimento do sorgo granífero**. 1983. 52 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SHIGAKI, F. **Variedade de cana-de-açúcar para alimentação bovina cultivada sob condições de déficit hídrico**. 2003. 70 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.

SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. de S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de

manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p.833-842, 2005.

SILVA, G. M. Influência da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. cap. 13, p. 317-332. (Coleção Planalsucar, 2).

SILVA, L. C. F.; CASAGRANDE, J. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. cap. 4, p. 77-99. (Coleção Planalsucar, 2).

SILVA, V. R., REINERT, D. J., SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico: I estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 1-8, 2002.

SILVA, R.B., DIAS JUNIOR, M.S., SILVA, F. A. M., FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.27, p. 973-983, 2003.

SILVA, G. M. A. et al. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante em cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v.7, p.9-14, 1978.

SOUZA, S. R. **Efeitos da aplicação foliar de nitrogênio pós-antese sobre as enzimas de assimilação de N e acúmulo de proteínas em grãos de arroz**. 1995. 152 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1995.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) sob efeito do fósforo**. 2001.79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

STUPIELLO, P. et al. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante na qualidade da cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.33, n.11, p.41-49, 1977.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed., Porto Alegre: Editora Artmed, 2004. 719 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP. **Termo de referência para workshop tecnológico**. Disponível em: <[www.apta.sp.gov.br-cana](http://www.apta.sp.gov.br-cana)>. Acesso em: 30 de out. 2009.

VALSECHI, O.; GOMES, F. P. Solos incorporados com vinhaça e seu teor de bases. In: CONGRESSO PAN-AMERICANO DE AGRONOMIA, 2., 1954, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, v. 11, p. 136-58, 1954.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica, 1952. 371 p.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

VARGAS, J.T.D. **Efeito na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) da aplicação de calcário como corretivo e adubo em solo de cerrado**. 1981. 94p. Dissertação - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Campinas.

VASCONCELOS, A. C. M. **Comportamento de clones IAC e variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) nas condições edafoclimáticas da região do vale do Paranapanema**. 1998. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar.** Piracicaba: POTAFOS, 2002. 16p. (Encarte).