

**APLICAÇÃO DE VINHAÇA DE ALAMBIQUE
COM E SEM COMPLEMENTAÇÃO
NITROGENADA EM CANA-SOCA
IRRIGADA E NÃO IRRIGADA**

EDNALDO LIBERATO DE OLIVEIRA

2009

EDNALDO LIBERATO DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE VINHAÇA DE ALAMBIQUE COM E SEM
COMPLEMENTAÇÃO NITROGENADA EM CANA-SOCA IRRIGADA
E NÃO IRRIGADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador
Prof. Dr. Manoel Alves de Faria

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Oliveira, Ednaldo Liberato de.

Aplicação de vinhaça de alambique com e sem complementação nitrogenada em cana-soca irrigada e não irrigada / Ednaldo Liberato de Oliveira. – Lavras : UFLA, 2009.

71 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Manoel Alves de Faria.

Bibliografia.

1. Irrigação. 2. *Saccharum hybridas*. 3. Resíduo de alambique. 4. Adubação de cobertura . 5. Reuso de água. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.6181

EDNALDO LIBERATO DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE VINHAÇA DE ALAMBIQUE COM E SEM
COMPLEMENTAÇÃO NITROGENADA EM CANA-SOCA IRRIGADA
E NÃO IRRIGADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 08 de abril de 2009

Prof. Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade **UFLA**

Prof. Dr. Augusto Ramalho de Moraes **UFLA**

Pesq. Dr. Ivan Antônio dos Anjos **APTA/IAC**

Pesq. Dr. Julio Cesar Garcia **APTA/IAC**

Prof. Dr. Manoel Alves de Faria
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A **Deus**, pelo belíssimo dom da vida. A José Liberato, por ter proporcionado a minha formação no ensino médio, bem como por ter dado a mim o prazer e a honra de conviver e conhecer melhor o Irmão, Profissional, Amigo e Ser Humano a quem admiro e tenho como exemplo a ser seguido e a você caro leitor, que acredita na grandeza do trabalho, na importância do saber e na formação do ser humano.

OFEREÇO

Aos meus queridos pais, Antônio Liberato de Oliveira e Amélia Barros de Oliveira, (*In memoriam*), pelo amor e ensinamentos, pois se agora conquisto mais uma vitória, é porque vocês estiveram sempre a meu lado e me ensinaram a seguir pelo bom caminho. À minha amada esposa, Gleide Rodrigues, pela paciência e compreensão para com as ausências do dia-a-dia, necessárias para a vitória em mais essa etapa de nossas vidas. Às minhas filhas: Juliana, Jéssyka Glenda, Sabrina e netos Júlia e Gabriel. Aos meus irmãos: Joatan, Maria Liberato, José Liberato, Dimas, Elias, Edileuza (*In memoriam*) e Rosilene.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela oportunidade de concluir mais uma etapa tão especial da minha vida.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica, campus Januária e a Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico e CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão de bolsa de estudo.

À FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio financeiro.

À Cachaçaria João Mendes que cedeu toda estrutura necessária para a instalação do experimento no campo, bem como pelas facilidades oferecidas durante a condução dos trabalhos e à destilaria Alvora do Bebedouro Ltda, que realizou as análises laboratoriais das características tecnológicas da cana.

Ao prof. Dr Manoel Alves de Faria, por acreditar no meu potencial e pela excelente orientação, companheirismo, compreensão, incentivo, amizade, apoio, presença constante, em resumo: uma bela amizade.

Aos professores Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade e Dr. Augusto Ramalho de Moraes, pela co-orientação, pela grande boa vontade e oportunas sugestões apresentadas na elaboração deste trabalho.

Aos pesquisadores, Dr. Ivan Antônio dos Anjos e Dr. Julio Cesar Garcia, por aceitarem participar da banca de defesa e pelas valiosas observações apresentadas.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos repassados, que contribuíram para meu aprendizado.

Aos amigos de Pós-Graduação: Marcus Vinícius, Renato Vilas Boas, Juliana, Dílson, Luiz César, Eduardo Inácio, Antônio Carlos, Natalino Martins, Reinaldo Freitas, Kátia Daniela, Walfredro Sérgio e Fábio Henrique, pelo agradável convívio e amizade.

Aos funcionários Oswaldo (Nenê), Gilson e José Luiz, pelo auxílio e fornecimento de material.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Ana Daniela dos Santos, pelo apoio e fraterna atenção.

Aos amigos José Ricardo, Paulo César, Adão Wagner e Oscar Mariano, pelo convívio e principalmente pela grande amizade.

A todos que, de alguma forma ou de outra, nos incentivaram e prestaram sua colaboração.

A todos vocês os meus sinceros agradecimento e **MIL VEZES OBRIGADO**. Que Deus abençoe a vida de vocês cada vez mais.

BIOGRAFIA

EDNALDO LIBERATO DE OLIVEIRA, filho de Antônio Liberato de Oliveira e Amélia Barros de Oliveira, nasceu em Jupi - Pernambuco, no dia 25 de setembro de 1964.

Em 1976, concluiu o ensino fundamental na Escola Estadual Sebastião Tiago Oliveira, Jupi, PE. O ensino médio foi concluído em 1980, no Colégio Pré-Universitário Campinesne, Campina Grande - Paraíba.

Cursou Engenharia Agrônoma na Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus II, Areia, no período de agosto de 1983 a fevereiro de 1988. Foi bolsista de iniciação científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, de 1986 a 1988, desenvolvendo trabalhos relacionados à fertilidade do solo, nutrição mineral de plantas e irrigação e drenagem.

Trabalhou na empresa Aqua Terra Produtos e Tecnologia de Irrigação Ltda (AQUATERRA), com sede em Recife, PE, onde ocupou o cargo de Engenheiro Agrônomo (1988 a 1989); na empresa Ap Agropecuária Ltda, sediada em Santa Inês, MA, onde ocupou o cargo de Engenheiro Agrônomo - Coordenador Técnico. (1989 a 1990) e na Fazenda Peri-Peri, com sede em Jupi, PE, onde ocupou o cargo de Engenheiro Agrônomo – Gerente (1990 a 1993).

Concluiu, o curso de mestrado, área de concentração Irrigação e Drenagem, na UFPB hoje UFCG, em julho de 1995. Em março de 2006 iniciou o curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, área de Engenharia de Água e Solo, na UFLA, tendo obtido o título de Doutor em abril de 2009 com a defesa desta tese. Desde outubro de 1996 é Professor Efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas, Campus Januária (IFETNMG).

SUMÁRIO

| | Página |
|---|---------------|
| RESUMO | i |
| ABSTRACT | ii |
| 1 INTRODUÇÃO | 01 |
| 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO | 03 |
| 2.1 Vinhaça de cana-de-açúcar | 03 |
| 2.1.1 Aspectos gerais | 03 |
| 2.1.2 Composição e uso como fertilizante | 09 |
| 2.2 Exigência da cana-de-açúcar em nitrogênio e potássio..... | 10 |
| 2.2.1 Adubação nitrogenada | 11 |
| 2.2.2 Adubação potássica..... | 13 |
| 2.3 Irrigação em cana-de-açúcar | 15 |
| 2.4 Características tecnológicas da cana-de-açúcar | 21 |
| 2.4.1 Brix | 21 |
| 2.4.2 Pol | 22 |
| 2.4.3 Fibra | 23 |
| 2.4.4 Pureza | 24 |
| 2.4.5 Açúcares redutores (AR) | 25 |
| 2.4.6 Açúcar total recuperável (ATR)..... | 26 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 3.1 Caracterização da área experimental | 27 |
| 3.1.1 Análises físicas | 28 |
| 3.1.2 Análises químicas | 31 |
| 3.2 Cultivar utilizada..... | 32 |
| 3.3 Delineamento experimental e tratamentos | 32 |
| 3.4 Manejo da irrigação | 33 |

| | |
|--|----|
| 3.5 Precipitação, irrigação e evapotranspiração da cultura (ETc).... | 36 |
| 3.6 Caracterização da vinhaça de alambique | 39 |
| 3.7 Características avaliadas | 42 |
| 3.8 Análises estatísticas..... | 42 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 44 |
| 4.1 Características da cana-de-açúcar | 44 |
| 4.1.1 Número de colmos por metro..... | 44 |
| 4.1.2 Comprimento e diâmetro do colmo | 46 |
| 4.1.3 Redimento de colmos | 50 |
| 4.1.4 Características tecnológicas | 55 |
| 5 CONCLUSÕES | 59 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|--|---------------|
| TABELA 1 Resultados da análise física do solo da área experimental, em setembro de 2006 | 28 |
| TABELA 2 Valores de α , m, n, θ_r , θ_s e R^2 para a amostra de solo coletada no local de realização do experimento | 29 |
| TABELA 3 Resultados das análises químicas do solo da área experimental em setembro de 2006 | 31 |
| TABELA 4 Tratamentos analisados no experimento | 33 |
| TABELA 5 Valores de coeficiente de cultura (Kc) utilizados no experimento..... | 34 |
| TABELA 6 Composição química da vinhaça diluída utilizada na área experimental, em outubro/2006 e agosto/2007. Cachaçaria JM, Perdões, MG..... | 40 |
| TABELA 7 Quantidade, em kg ha^{-1} , equivalente com fertilizantes minerais da vinhaça de alambique, utilizada no experimento..... | 41 |
| TABELA 8 Resumo da análise conjunta da variância para número de colmos por metro da cana-de-açúcar cultivar SP80-1816, na época da colheita, quanto à aplicação de vinhaça com e sem complementação nitrogenada | 44 |
| TABELA 9 Número de colmos por metro por ocasião da colheita da cana-de-açúcar nos diferentes ambientes | 45 |
| TABELA 10 Resumo da análise conjunta de variância para comprimento e diâmetro de colmo da cana-de-açúcar, nos 3 ^o e 4 ^o cortes, quanto à aplicação de vinhaça com e sem complementação nitrogenada | 47 |

| | | |
|-----------|--|----|
| TABELA 11 | Valores médios para comprimento (m) e diâmetro de colmo (mm) em função dos ambientes irrigado e não irrigado nos 3 ^o e 4 ^o cortes, quanto à aplicação de vinhaça com e sem complementação nitrogenada..... | 48 |
| TABELA 12 | Resumo da análise conjunta de variância para rendimento de colmos (TCH) nos 3 ^o e 4 ^o cortes, quanto à aplicação de vinhaça com e sem complementação nitrogenada | 51 |
| TABELA 13 | Valores médios para rendimento de colmos (TCH) em função dos tratamentos aplicados para ambiente irrigado – 3 ^o e 4 ^o cortes (Ci3 e Ci4) e ambiente não irrigado – 3 ^o e 4 ^o cortes (Si3 e Si4)..... | 54 |
| TABELA 14 | Resumo da análise conjunta de variância para as características tecnológicas da cana-de-açúcar, variedade SP80-1816, obtida no ensaio com aplicação de vinhaça e complementação nitrogenada, em ambiente com irrigação e sem irrigação, 3 ^o e 4 ^o cortes | 56 |
| TABELA 15 | Valores médios para as características tecnológicas de cana-de-açúcar, com aplicação de vinhaça e complementação nitrogenada, em ambiente com irrigação e sem irrigação, 3 ^o e 4 ^o cortes | 56 |

LISTA DE FIGURAS

Página

- FIGURA 1 Curva característica de retenção de água no solo, da área experimental, nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, gerada utilizando-se o modelo proposto por Mualem-Van Genuchten (1980)..... 30
- FIGURA 2 Dados mensais de água aplicada na cultura da cana-de-açúcar por irrigação, precipitação e evapotranspiração da cultura (ETc), no período de setembro/2006 a julho/2007 37
- FIGURA 3 Dados mensais de água aplicada na cultura da cana de açúcar por irrigação, precipitação e evapotranspiração da cultura (ETc), no período de agosto/2007 a julho/2008..... 38
- FIGURA 4 Equação de regressão para número de colmos por metro, em função das doses de vinhaça na ausência (NO) e presença (N60) de nitrogênio 46
- FIGURA 5 Equação de regressão para comprimento de colmo, em função das doses de vinhaça..... 49
- FIGURA 6 Equação de regressão para diâmetro de colmo em função das doses de vinhaça na ausência (NO) e presença (N60) de nitrogênio 50
- FIGURA 7 Equação de regressão, do rendimento de colmo em cana soca complementada com (N60) e sem (N0) nitrogênio.... 52
- FIGURA 8 Equação de regressão para estimativa do rendimento de colmo na cana-soca submetida a diferentes doses de vinhaça de alambique, em ambiente com irrigação – 3^o e 4^o cortes (Ci3 e Ci4) e ambiente sem irrigação 3^o e 4^o corte (Si3 e Si4) 53
- FIGURA 9 Equação de regressão para característica tecnológica fibra (% cana) em função da dose de vinhaça aplicada ao solo 57

RESUMO

OLIVEIRA, Ednaldo Liberato de. **Aplicação de vinhaça de alambique com e sem complementação nitrogenada em cana-soca irrigada e não irrigada**. 2009. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG ¹.

De maneira geral, a vinhaça de alambique é um resíduo com alta capacidade de poluir, principalmente os recursos hídricos. Entretanto, sua aplicação em doses adequadas no solo favorece o aumento da disponibilidade de alguns elementos essenciais para as plantas. No sistema de cana colhida sem prévia despalha a fogo, existem dúvidas quanto a real necessidade da complementação nitrogenada em áreas que recebem aplicação de vinhaça. A irrigação na cultura da cana - de - açúcar é uma prática ainda em estudo. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de vinhaça de alambique com e sem complementação nitrogenada em cana-soca irrigada e não irrigada. O experimento foi conduzido na Cachaçaria JM, Município de Perdões, MG, no período de setembro de 2006 a setembro de 2008, instalado num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa, cultivado com o híbrido SP80-1816. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2, com três repetições. Os tratamentos corresponderam à aplicação de quatro doses de vinhaça de alambique (0, 100, 150 e 200 m³ ha⁻¹) e duas doses de adubação nitrogenada (0 e 60 kg ha⁻¹ de N). As avaliações foram realizadas com base nos ambientes representados pelas canas de 3^o e 4^o cortes, irrigadas e não irrigadas. Foram avaliadas as características agrícolas (número, comprimento, diâmetro e rendimento de colmos) e características tecnológicas da cana (Brix, Pol, Fibra, Pureza, AR e ATR). As doses estimadas de 141,66 e 174 m³ ha⁻¹ de vinhaça de alambique proporcionaram os maiores rendimento de colmos para a cana de terceiro corte, no ambiente irrigado e não irrigado, respectivamente. Na cana de quarto corte, tanto no ambiente irrigado quanto no não irrigado, à medida que aumentou a dose de vinhaça ocorreu aumento no rendimento de colmo. A fibra teve seu valor reduzido com o aumento das doses de vinhaça. No sistema de cana-soca colhida sem prévia despalha a fogo, há necessidade da aplicação de nitrogênio em áreas de aplicação de vinhaça; tanto no ambiente irrigado como no não irrigado. O aumento no rendimento final de colmo obtido mediante o uso da irrigação foi de 15,16% no terceiro corte e de 23,65% no quarto corte, sendo tecnicamente viável o uso da irrigação em cana-soca.

¹ Comitê Orientador: Manoel Alves de Faria – DEG/UFLA (Orientador), Luiz Antônio de Bastos Andrade – DAG/UFLA e Augusto Ramalho de Moraes – DEX/UFLA (Co-orientadores).

ABSTRACT

OLIVEIRA, Ednaldo Liberato de. **Application of pot still vinasse with or without nitrogen supplementation on irrigated and non-irrigated ratoon sugar cane.** 2008. 71 p. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG ².

Although pot still vinasse is considered a potential polluter, mainly for stream water sources, its use can be advantageous when applied under control. It can increase the availability of some essential soil compounds for crops. It is supposed when sugar cane are harvested without prior burning, the application of its vinasse can avoid supplementation of nitrogen fertilizers. The main objective of the present study was to evaluate the effect of vinasse, from pot still, on irrigated and not irrigated ratoon cane, with and without nitrogen supplementation. The experiment was carried out in the “Cachaçaria JM”, in city of Perdões-MG, from September/2006 to September/2008, on a Distroferric Yellow-red Latosol with the cultivar hybrid SP80-1816. The experiment was in a 4 x 2 factorial randomized blocks design with three replications, with treatments of four doses of vinasse (0, 100, 150, and 200 m³/ha) and two doses of nitrogen fertilizer (0 and 60 kg /ha of N). The evaluations were done for the 3rd and for the 4th cuts, in irrigated and in not irrigated plots. The following agronomics parameters and technological characteristics were evaluated: number, length, diameter and yield of sugar cane stalk; Brix, Pol, Fiber, Pureness, AR and ATR. Estimated doses of 141.66 and 174.00 cubic meter per hectare of pot still vinasse provided the highest yield of stalks for the third cut, respectively for irrigated and not irrigated condition. For the fourth cut, the yield of stalk increased with the increasing in the doses of vinasse, for irrigated as well as for not irrigated condition. Fiber decreased when doses of vinasse increased. Application of nitrogen is necessary, for irrigated and non irrigated sugar cane, when vinasse is applied in area with burning system. The final yield increase of stalk because of irrigation was 15.16% for the third cut and 23.65% for the fourth cut showing viability of the irrigation on ratoon cane.

² Guidance Committee: Manoel Alves de Faria – DEG/UFLA (Adviser), Luiz Antônio de Bastos Andrade – DAG/UFLA e Augusto Ramalho de Moraes – DEX/UFLA

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da cachaça de alambique sinaliza para o futuro como uma das mais promissoras no desenvolvimento agroindustrial do Brasil. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estima que são produzidos anualmente no Brasil 1,4 bilhões de litros de aguardente, sendo 400 milhões de cachaça de alambique. O setor é responsável pela geração de mais de 600 mil empregos, diretos e indiretos. No cenário de cachaça artesanal, o estado de Minas Gerais se destaca, possuindo aproximadamente 8.466 alambiques, com uma produção de cachaça em torno de 220 milhões de litros por ano, movimentando R\$1,5 bilhão só com o mercado interno, gera cerca de 240 mil empregos (Campelo, 2002).

Entretanto, quando se fala em produção de cachaça, deve ser associado à produção de vinhaça de alambique, também denominado vinhoto ou restilo. Para cada litro de cachaça produzido é gerado de 8 a 10 litros de vinhaça. Este resíduo além de possuir teores consideráveis de nutrientes inorgânicos, possui elevados teores de matéria orgânica, que requer, para sua degradação, grande quantidade de oxigênio do meio. Quando lançado a cursos d'água, a vinhaça reduz sobremaneira o teor de oxigênio desses ambientes, causando mortalidade de peixes e de outras espécies da fauna e da flora aquática. Quando lançado diretamente em solos permeáveis e/ou em locais onde o lençol freático é alto, pode contaminar as águas subterrâneas e, por consequência, as águas superficiais. Por isso, não é recomendável o descarte da vinhaça em meios inadequados. O uso da vinhaça de alambique, assim como a vinhaça oriunda da produção de álcool, como fertilizante, retornando para as lavouras é uma alternativa vantajosa, quando aplicada segundo técnicas agrícolas adequadas.

De maneira geral, a vinhaça de alambique apresenta elevadas concentrações de matéria orgânica, potássio e ferro e em pequenas proporções outros macro e micronutrientes. Portanto sua utilização favorecer a reposição de elementos essenciais para as plantas. Entretanto, não existem até o momento, informações seguras quanto ao uso da dose de vinhaça de alambique, que possa ser utilizada em substituição parcial ou totalmente a adubação química dos canaviais. A dose utilizada até então é a mesma que se utiliza para vinhaça da indústria do álcool, cuja composição química é diferente.

Em áreas de colheita mecanizada de cana crua, grande quantidade de massa vegetal é deixada sobre o solo. A adição de nitrogênio à vinhaça é uma prática comum, pois além de evitar a excassez deste nutriente às plantas, favorece a ação dos microorganismos decompositores da palhada. No entanto, a irrigação na cultura da cana de açúcar é uma prática ainda em estudo. É sabido que quando aliada às condições climáticas favoráveis a cultura, pode garantir bons rendimentos aos produtores.

Nesse contexto, este trabalho propôs estudar os efeitos da aplicação de doses de vinhaça de alambique, complementada ou não com nitrogênio, na produção agrícola e nas características tecnológicas da cana-de-açúcar, em ambiente irrigado e não irrigado.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Vinhaça de cana-de-açúcar

2.1.1 Aspectos gerais

A produção de cachaça inicia-se com a obtenção do caldo extraído dos colmos da cana de açúcar pela moagem. Após a moagem, o caldo é filtrado e decantado para retirada das impurezas. A etapa seguinte é a fermentação, que em condições ideais ocorre com o caldo de cana numa concentração de açúcares em torno de 15° Brix. Normalmente, o caldo apresenta uma concentração de açúcares de 14° a 22° brix. Acima de 15° brix, é necessário diluir o caldo de cana, para garantir a estabilidade do fermento ao longo de todo o período fermentativo. Portanto, a vinhaça de alambique é proveniente de mosto formado a partir do caldo da cana mais a água adicionada durante o processo de diluição do mesmo (Nogueira & Venturin Filho, 2005).

A vinhaça é o principal resíduo da destilação do álcool e da cachaça. Para cada litro de chachaça produzido são gerados de 8 a 10 litros de vinhaça.

É um dos resíduos poluidores mais ácidos e corrosivos existentes, de forma que tem poder de dizimar os seres da microfauna e microflora aquática, que formam os plânctons dos rios. A vinhaça é agente também responsável pelo agravamento da malária, e pelo aparecimento de endemias, como amebiose e esquistossomose (Szmrecsányi, 1994). O aumento da população de pernilongos e insetos é ainda outro nocivo efeito da poluição (Melo, 1999).

É um líquido de cor marrom escuro, de natureza ácida, que sob altas temperaturas e armazenado por algum tempo, libera (exala) odor desagradável; característica esta relacionada ao teor residual de açúcar o qual, por sua vez,

provoca um processo de putrefação tão logo a vinhaça é descarregada, liberando gases fétidos que tornam os ambientes insuportáveis (Freire & Cortez, 2000).

Este resíduo é constituído principalmente de água, sais sólidos em suspensão e solúveis; apresenta pH entre 4.0 e 4.5, tem um poder poluente cerca de cem vezes maior do que o do esgoto doméstico, e constitui um dos mais volumosos resíduos da agroindústria, sendo superado apenas pelo bagaço da cana (Gonçalves, 2008).

A vinhaça antes da descoberta do potencial como fertilizante do solo, era comumente descartado em rios ou áreas de sacrifício, provocando grande poluição e mortandade de peixes, além do incômodo às populações vizinhas provocado pelo mau cheiro característico deste resíduo. A total proibição do descarte desse resíduo nos cursos d'água foi feita em 29/11/1978 através da portaria nº 323 do Ministério do Interior (Gonçalves, 2008).

A vinhaça quando adicionada ao solo tem seu potencial poluidor reduzido, em consequência das interações bióticas e abióticas com o solo (Bataglia et al., 1986; Demattê, 1992). Entretanto, quando lançado diretamente em solos permeáveis ou em locais onde o lençol freático aflora, pode vir a contaminar as águas subterrâneas e, por consequência, as águas superficiais, quando inadequadamente dispostos em áreas permeáveis, e por aplicações exageradas (Freire & Cortez, 2000).

Em função de sua composição química a vinhaça pode ter diversos usos, dentre os quais o agrícola, substituindo parcial ou totalmente as adubações minerais da cana-de-açúcar, determinando uma redução nos custos de produção e uma significativa economia de divisas para o país (Santana, 1985; Mello, 1999). Devido à propriedade fertilizante, a vinhaça tornou-se um importante insumo na indústria sucroalcooleira, na produção da cana-de-açúcar (Rodella & Ferrari, 1977; Demattê, 1992).

2.1.2 Composição e uso como fertilizante

A composição da vinhaça é bastante variável e depende de uma série de fatores tais como: natureza e composição da matéria-prima utilizada, composição do mostro, tipo de fermentação, processo de destilação empregado, (Gava et al., 2001; Paulino et al., 2002; Azania et al., 2003; Siqueira, 2008).

Vários autores (Demattê, 1992; Elia Neto & Nakahondo, 1995; Freire & Cortez, 2000; Gava et al., 2001; Paulino et al., 2002; Azania et al., 2003; Nogueira et al., 2007; Siqueira, 2008) encontraram uma variação bastante grande na concentração dos componentes, tais como de 19 a 50% de M.O., 0,028 a 0,9 kg m⁻³ de N; 0,02 a 0,14 kg m⁻³ de P₂O₅; 0,85 a 4,6 kg m⁻³ de K₂O; 0,46 a 2,02 kg m⁻³ de CaO e 0,04 a 0,7 kg m⁻³ de MgO. Portanto, o emprego da vinhaça como fertilizante deve ser realizada com certa cautela, principalmente levando em consideração a sua origem, não sendo recomendada uma dose fixa de aplicação (Bolsanello & Vieira, 1980; Rodella et al., 1980; Medeiros, 1981;).

De acordo com Silva et al. (2007), o constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e, em menor quantidade, encontram-se cátions como o K, Ca e Mg, sendo que sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto. Quando se parte de mosto de melaço, têm-se maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio, ao passo que as quantidades destes elementos decaem consideravelmente quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas e do alambique.

Para a Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo – Copersucar (1978) a vinhaça deve ser utilizada como fertilizante, uma vez que a adição no solo, leva a um aumento do rendimento da cultura da cana-de-açúcar, elevação do pH do solo, aumento da disponibilidade de alguns nutrientes e imobilização de outros, aumentando a população

microbiana, bem como o poder de retenção de água e melhoria da estrutura física.

Trabalhos pioneiros sobre utilização de vinhaça incorreram em grave erro ao recomendarem a aplicação de quantidades excessivas de vinhaça no solo, chegando-se a recomendar doses ente 500 a 1000 m³ ha⁻¹ de vinhaça (Freire & Cortez, 2000). A aplicação sem critérios pode causar um desequilíbrio de nutrientes, gerando resultados diferentes daqueles esperados.

Glória (1976) passou a defender a aplicação racional da vinhaça levando-se em conta o conhecimento de sua composição química, o estudo das condições do solo que a receberá, assim como da cultura que será fertilizada. A dosagem ideal de aplicação de vinhaça varia segundo o tipo de solo e segundo as variedades de cana (Pinto, 1999).

Segundo o Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais, as dosagens de vinhaça a serem aplicadas no solo devem ser de no máximo 150 m³ ha⁻¹ (mosto de melaço); 300 m³ ha⁻¹ (mosto misto) e 450 m³ ha⁻¹ (mosto de caldo). A mesma norma estabelece que a aplicação de vinhaça em taxas iguais ou superiores às acima definidas deverá ser precedida de estudos técnicos (Minas Gerais, 1986).

Os cálculos para a dose ideal de vinhaça, de acordo com Rosseto (1997), são feitos baseados no teor de potássio que se tem de aplicar no solo. Entretanto, perdas devem ser levadas em consideração.

A recomendação para o uso de vinhaça em Minas Gerais, deve ser calculada com base na capacidade de troca catiônica potencial do solo, da capacidade de extração da cana-de-açúcar e do teor de potássio existente na vinhaça (Korndorfer et al. 1999).

Em março de 2005, foi homologada a Norma Técnica da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Cetesb) intitulada “Vinhaça: critérios e procedimentos

para aplicação no solo agrícola”, que tem por objetivos estabelecer os critérios e procedimentos para a aplicação de vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (Siqueira, 2008).

A fórmula adotada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (2005), para cálculo da dose máxima de vinhaça, é considerada restritiva em alguns tipos de solos, principalmente os da região oeste do Estado de São Paulo. Já em algumas situações pode ser considerada muito permissiva, ultrapassando, em muito, as doses consideradas ideais para adequada nutrição e adubação da cultura. Questiona-se também a determinação da saturação de potássio ser de até 5% da CTC potencial para todos os solos; do emprego da CTC potencial e não a CTC efetiva; da possível superestimação da Soma de Bases e dos teores de $H^+ + Al^{3+}$ pela metodologia empregada.

Dentre as várias dosagens recomendadas para aplicação da vinhaça como fertilizante Rosseto (1987), obteve melhores resultados de produtividade de colmos utilizando uma faixa de dosagem de 100 a 700 $m^3 ha^{-1}$.

Os riscos da aplicação de grandes volumes de vinhaça por hectare incluem o perigo de salinização do solo. Infelizmente, não se dispõe de estudos que ofereçam um mapa da situação atual sobre a fertirrigação, detalhando os volumes de vinhaça aplicados, seja por região, seja por produtor. Para evitar problemas com o uso de quantidades excessivas de vinhaça em soqueiras de cana, Glória (1976), recomenda que quando se tratar de vinhaça de mosto de melaço a quantidade a aplicar seja de 35 a 50 $m^3 ha^{-1}$, aplicadas através de um sistema que permita um controle rigoroso do seu volume. Oliveira et al. (2007), relatam que as doses de vinhaça aplicadas tem variado de 60 a 300 $m^3 ha^{-1}$, dependendo da concentração de K; no Estado de São Paulo as dosagens médias aplicada de vinhaça por hectare são de 300 $m^3 ha^{-1}$, enquanto que no Brasil está em torno de 270 $m^3 ha^{-1}$ (Luz, 2005).

Segundo estudo realizado por Lyra et al. (2003), a aplicação de vinhaça na fertirrigação de canaviais, apesar de minimizar seu potencial poluidor, não garante o atendimento a todos os parâmetros de qualidade exigidos pelo CONAMA para rios Classe 2, afetando a qualidade da água do lençol freático, para uma taxa de aplicação de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

As principais razões da ampla difusão (hoje, quase a totalidade das usinas utiliza a vinhaça produzida para fertirrigação) desta prática são: baixo investimento inicial requerido (tanques de decantação, caminhões, e atualmente bombas e dutos); baixo custo de manutenção (mão-de-obra, diesel e eletricidade gerada localmente); rápida disposição da vinhaça no solo (sem necessidade de grandes reservatórios reguladores); ganhos compatíveis com o investimento (há lucros com a reciclagem do potássio no solo e o retorno do investimento é bastante rápido); fecha o ciclo interno que envolve a parte agrícola e a industrial no mesmo setor, diminuindo a dependência de insumos externos (fertilizante) e não envolve uso de tecnologia complexa, e principalmente por contribuir no aumento da produção agrícola e industrial (Cortez et al., 1992).

A utilização da vinhaça em soqueira de cana-de-açúcar proporciona aumento do rendimento da cultura ocorrendo paralelamente redução na concentração de açúcar. Este efeito depressor pode ser devido a um crescimento vegetativo mais vigoroso, que leva a um atraso na maturação. Apesar da diminuição na concentração de açúcar, a quantidade total produzida por área aumenta (Korndorfer, 1990).

Aumento significativo na produção de colmos e na quantidade de sacarose no caldo (pol) por hectare, em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico fase arenosa, foi constatado por Serra (1979), quando aplicou 30 e 60 m^3 de vinhaça ha^{-1} . Em Terra Roxa Estruturada, o mesmo autor relata que somente com a dose de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ houve tendência de aumento na produção de colmos e pol por hectare.

Apesar de seu alto valor agronômico, refletido no aumento da produtividade da cana, constatou-se efeito negativo de doses altas de vinhaça na qualidade da matéria prima para a produção de açúcar. Silva et al. (1976), trabalhando com 16 variedades de cana cultivadas com e sem irrigação de vinhaça, na dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, concluíram que a adição de vinhaça atrasou a maturação, reduziu o teor de sacarose e de fibras e promoveu o acúmulo de cinzas no caldo, prejudicando a matéria prima principalmente para produção de açúcar.

A aplicação de doses exageradas de vinhaça, provenientes principalmente do mosto de melaço ou misto, geralmente acima de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, para solos argilosos, ou $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, para solos arenosos, além de provocarem exuberante desenvolvimento vegetativo, promoveram atraso na maturação, redução do teor de sacarose e acúmulo de amido e cinzas no caldo da cana (Copersucar, 1978).

Pesquisas realizadas por Pennatti et al. (1988), com o objetivo de estudar o efeito de doses crescentes de vinhaça e nitrogênio na produção de cana soca, mostraram que a vinhaça proporcionou aumentos significativos de produção e os maiores incrementos foram observados em solos de textura mais arenosa. Nas doses de 50 e $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça, houve respostas linearmente significativa para a complementação nitrogenada. Com relação à qualidade da matéria prima não houve influência das doses de vinhaça e/ou nitrogênio.

Em relação à complementação mineral da vinhaça com nitrogênio, Robaina et al. (1984) observaram maior eficiência da prática em áreas com teores de argila inferiores a 35%, sendo que as complementações não apresentaram respostas significativas para o rendimento de colmos da cultura. Pereira et al. (1985) trabalhando em soqueiras, perceberam que solos que apresentavam teores de argila superiores a 35% nem sempre reagem

favoravelmente à adubação nitrogenada, em complementação à aplicação de vinhaça.

Em trabalho semelhante, Glória et al. (1984) observaram efeitos favoráveis à complementação em soqueira em solos com teor de argila superior a 50%.

Figueiredo (2000), estudando os efeitos da adição de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça em uma única aplicação, complementada com $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, verificou que as características tecnológicas da cana de açúcar não foram afetadas pela aplicação da vinhaça, complementada ou não com nitrogênio, mas que houve aumento no rendimento de colmos.

Paulino et al. (2002), trabalhando em soqueiras de cana de açúcar (3ª e 4ª socas) submetida a diferentes doses de vinhaça, concluíram que as doses intermediárias de vinhaça (300 e $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) geraram os melhores índices de produtividades agrícola e industrial.

2.2 Exigência da cana-de-açúcar em nitrogênio e potássio

Segundo Freire & Cortez (2000), a cana de açúcar é uma cultura exigente em nitrogênio e potássio, extraindo em torno de 130 a 150 kg de nitrogênio (N) e igual quantidade de potássio (K_2O) para uma produção de 100 t ha^{-1} de colmos, e somente 20 kg ha^{-1} de fósforo (P_2O_5).

De acordo com Orlando Filho (1993) as quantidades extraídas de macronutrientes primários por 100 toneladas de colmos de cana são: 143 kg de N, 19 kg de P_2O_5 e 174 kg de K. Para Oliveira et al. (2007), o acúmulo desses nutrientes na parte aérea da planta é da ordem de 150, 40 e 180 kg de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente.

Rosseto et al. (2008), afirmam que quando se aplica um nutriente no solo, deve-se lembrar que a eficiência do mesmo na prática da adubação não é 100%. Assim, parte do nutriente pode ser perdida no perfil do solo e/ou parte

pode ser adsorvida. Portanto, deve-se utilizar um fator para corrigir a porcentagem de aproveitamento de cada elemento. No caso dos macronutrientes primários, a porcentagem de aproveitamento é de aproximadamente 50% para N, 20 a 30% para P_2O_5 e 70% para o K_2O .

Outra questão a considerar é que atualmente as variedades de cana-de-açúcar plantadas são mais ricas em açúcares e têm maior exigência de nutrientes; neste sentido, é de suma importância reavaliar a quantidade de N e K a serem aplicadas. O potássio e nitrogênio são os macronutrientes primários absorvidos e exportados em maiores proporções pela cultura da cana-de-açúcar e existe alto efeito da interação K x N sobre o crescimento e maturação da cana, bem como sobre o rendimento de colmos (Malavolta & Crocomo, 1982).

2.2.1 Adubação nitrogenada

O nitrogênio (N) destaca-se dos demais nutrientes por apresentar acentuado dinamismo no solo e por ser, normalmente, o nutriente exigido em maior quantidade pela maioria das culturas; exceto para a cana-de-açúcar, onde o potássio (K_2O) é absorvido em maior quantidade, seguido do nitrogênio (Oliveira et al., 2003). A importância do nitrogênio na nutrição e fisiologia da cana-de-açúcar está relacionada entre outras funções com a formação das proteínas e dos ácidos nucléicos (Malavolta et al., 1989).

Segundo Silva & Casagrande (1983), na cultura da cana-de-açúcar, a falta de nitrogênio é caracterizada pela clorose das folhas mais velhas e, em caso de severa deficiência do elemento, as plantas apresentam-se pouco desenvolvidas, as folhas se apresentam menores, os colmos têm pequeno diâmetro e o perfilhamento é limitado.

Figueiredo Filho et al. (1996), estudando efeito de cinco doses de sulfato de amônio como fonte de nitrogênio na produção de cana-de-açúcar, obteve resposta significativa da cana-planta à adubação nitrogenada na maioria das

áreas estudadas. Korndorfer et al. (1996), observaram aumento linear na produtividade de cana planta com as doses de nitrogênio de 0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹. Porém, segundo Marinho & Albuquerque (1983), a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada no Brasil é muitas vezes surpreendente. É comum encontrar-se grandes acréscimos de produtividade, efeitos nulos ou menos expressivos.

A maioria dos trabalhos envolvendo adubação nitrogenada em cana de açúcar, concluem que a cana-planta não responde ao nitrogênio, neste sentido, Korndorfer et al. (1999), relatam que não há necessidade de se fazer aplicação de nitrogênio no plantio da cana-de-açúcar e que a adubação de cobertura com este nutriente deverá ser baseada no histórico da área.

A baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada pode ser devido ao grande número de bactérias assimbióticas que fixam mais nitrogênio, já que o solo foi preparado recentemente e sua maior aeração facilita o aumento da população bacteriana. Também a absorção de nitrogênio pela cana-planta é lenta e gradativa, dando tempo das bactérias fixarem o nitrogênio e depois de sua morte, ser mineralizado e ficar disponível para a planta. Na cana-soca, a compactação do solo reduz a aeração do mesmo e, conseqüentemente, a população de bactérias na rizosfera é menor, com pequena fixação de nitrogênio. Também a absorção de nitrogênio é maior e mais rápida no início do ciclo da soca (Andrade, 2006). Este mesmo autor recomenda a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N colocado em ambos os lados da linha remanescente de cana soca e que em áreas de aplicação de vinhaça complementada com N, não é necessário aplicar nitrogênio.

Quando a produtividade esperada da cana soca for de 60 a 80 toneladas de colmo por hectare, recomenda-se aplicar 80 kg ha⁻¹ de N (Korndorfer et al. 1999). Outros autores, entre eles Dias & Rosseto (2006), recomendam, dependendo da meta de produtividade da cultura, a aplicação de 30 a 60 kg ha⁻¹

de N em cobertura, além da dosagem indicada nas tabelas de recomendação de adubação.

De acordo com Penatti & Forti (1994), o nitrogênio é um dos nutrientes mais difíceis de serem recomendados adequadamente, sendo necessários estudos de calibração de adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar.

Para Prado & Pancelli (2008), a adubação nitrogenada em soqueira de cana de açúcar promoveu acidificação do solo restrita à camada superficial (0-20 cm); entretanto, não aumentou significativamente os teores de macro e micronutrientes nas folhas, exceto o N na segunda soqueira. A resposta das duas primeiras soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio, em sistema de colheita sem queima, ocorreu apenas no segundo corte.

2.2.2 Adubação potássica

O potássio (K^+) é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura da cana-de-açúcar, pois este é o nutriente exportado em maior quantidade por essa cultura, apesar de não fazer parte de nenhum composto orgânico presente na cultura (Orlando Filho et al., 1996; Freire & Cortez, 2000; Dias & Rosseto, 2006).

O potássio é absorvido pela planta como K^+ é, cofator de aproximadamente 60 enzimas implicadas em muitas reações metabólicas e, através destas, em processos fisiológicos que vão da abertura e fechamento dos estômatos até a síntese de proteínas, passando pela fotossíntese, respiração e resistência à seca, estando ainda envolvido no transporte de açúcares das folhas para os colmos, que são os órgãos de reserva. A cana de açúcar, mais que a maioria das outras plantas, parece ter maior necessidade de metabolizar glicose em seus primeiros meses de desenvolvimento. Baixos níveis de sacarose são associados à deficiência de potássio (Orlando Filho, 1993; Andrade, 2006). O

potássio também está diretamente relacionado com a eficiência do uso do nitrogênio e produção fotossintética (Mengel, 1982).

O excesso de potássio no solo e/ou sua falta pode diminuir a qualidade da matéria-prima, influenciando as porcentagens do teor de sacarose (Pol) e a fibra industrial da cana. Santos et al. (1979) afirmam que a aplicação do potássio em doses de até 440 kg de K_2O ha^{-1} aumentou o teor de açúcar teórico recuperável nos experimentos de campo em algumas regiões do Nordeste. O número de colmos na colheita e os valores de Brix, Açúcares Totais e Pol não foram afetados pelo parcelamento do K^+ e a aplicação de 120 kg de K_2O ha^{-1} de uma só vez propiciou maior teor de açúcares redutores (Guedes et al., 2002).

Em pesquisas realizadas por Zillo (1993), não foi identificado efeito significativo da aplicação parcelada de nitrogênio e potássio no rendimento da cultura da cana-de-açúcar, recomendando que a adubação com potássio seja realizada de uma só vez, sendo que a dose de 150 kg de K_2O ha^{-1} é a mais adequada. Este mesmo autor afirma que o K pode ser considerado perdido por lixiviação se atingir em torno de 90 a 100 cm de profundidade no perfil do solo.

No Brasil, de maneira geral, a cana-de-açúcar apresenta boa resposta à adubação potássica, não só por ser uma cultura exigente, mas também pelo fato de a maioria dos solos brasileiros baixos teores do nutriente na forma assimilável. Embora a absorção e a remoção de K variem entre as cultivares de cana-de-açúcar, pode-se considerar em média, remoção de 1,5 kg de Kg de K_2O para cada tonelada de material natural colhido por hectare (Oliveira et al., 2007).

Diferentemente do que acontece com outros nutrientes, o potássio praticamente não entra na composição do protoplasma, das gorduras e da celulose. Porém, nas regiões de crescimento como nos primeiros internódios ou meristemas, sempre está presente e migra de acordo com a expansão do colmo, sendo, portanto indispensável na formação de novos tecidos. Uma planta bem nutrida em potássio resiste melhor ao frio, às pragas e doenças, possuem porte

ereto e exibe um vigoroso sistema radicular, o que diminui a possibilidade de acamamento da lavoura, fato extremamente desejável para a cana-de-açúcar (Figueiredo, 2006).

2.3 Irrigação em cana-de-açúcar

A crescente expansão da cultura da cana de açúcar já está ocupando áreas antes consideradas marginais, principalmente por deficiência hídrica. O aumento expressivo da área plantada vai demandar maior uso da irrigação, que em certas regiões é um fator decisivo no processo de desenvolvimento da agricultura, sem a qual se tornaria economicamente inviável o cultivo da maioria das culturas. Para Costa et al. (2007), a irrigação na cultura da cana de açúcar é uma prática ainda em estudo, no entanto, quando aliada às condições climáticas como temperatura e luminosidade, pode garantir bons rendimentos ao produtor.

Segundo Pires et al. (2008), o emprego da irrigação na produção de cana de açúcar tem sido bastante questionado, tanto pela incerteza na resposta da planta, quanto pelos custos com a irrigação. Estes mesmos autores, afirmam que no Brasil, as novas tecnologias de irrigação baratearam significativamente em relação às décadas passadas, o que vem possibilitando a evolução e uso dessa tecnologia no país. Por fim, o aumento da produção e o retorno econômico pelo emprego da irrigação são bastante dependentes da região de cultivo.

Em todas as pesquisas envolvendo irrigação em cana de açúcar, as conclusões são unânimes em afirmar o incremento no rendimento da cultura irrigada em relação à cultura sem irrigação. Dalri (2006), afirma que o desenvolvimento de estudos aplicados ao planejamento da irrigação em cana de açúcar é importante, especialmente quando se busca a melhoria da produtividade. Atualmente, a produtividade média do Estado de São Paulo, embora das mais altas do país, ainda está muito distante do potencial produtivo biológico da cana de açúcar, o qual aponta para marca de $345,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A irrigação da cana de açúcar tem sido realizada preferencialmente com uso de sistemas pressurizados. Dentre os sistemas de irrigação existentes, destacam-se a irrigação por aspersão convencional, autopropelidos, pivô-central e o gotejamento (Costa et al., 2007).

Em culturas irrigadas, um dos fatores mais importantes é a determinação das lâminas de água para reposição das perdas ocorridas em função da evapotranspiração, com o intuito de potencializar a eficiência produtiva. O objetivo da irrigação é dotar o solo com umidade suficiente, na zona de ação radicular, para manter a cultura em conforto hídrico, de tal forma a minimizar o gasto de energia na absorção de água para as suas atividades metabólicas (Pires et al., 2008),

A resposta à irrigação na cultura da cana-de-açúcar depende do período de crescimento em que ela se encontra no momento da aplicação de água. Doorenbos & Kassam (1979) definiram quatro estádios de desenvolvimento para a cana-de-açúcar; o primeiro é o de estabelecimento da cultura, seguido do período vegetativo, da formação da produção e o quarto, o da maturação, destacando que os períodos de estabelecimento e vegetativo são os mais sensíveis à deficiência hídrica.

Durante o período vegetativo inicial, o perfilhamento é diretamente proporcional à frequência de irrigação. Um perfilhamento vigoroso no início é ideal porque proporciona o surgimento de brotos aproximadamente da mesma idade.

A resposta da cana-de-açúcar à irrigação durante o período vegetativo e o início de formação da colheita é maior do que durante a última parte do período de formação da colheita quando a área foliar ativa está diminuindo e a cultura apresenta menor capacidade de resposta à luz solar. Durante o período de formação da colheita, a irrigação frequente tem efeito acelerador sobre a floração, o que leva à redução a produção de açúcar.

A deficiência hídrica durante os períodos de estabelecimento e vegetativo inicial tem efeito adverso sobre o rendimento em comparação com o déficit hídrico nos últimos períodos de desenvolvimento. O déficit hídrico retarda a brotação e o perfilhamento, o que resulta num número menor de per filhos. Durante o período vegetativo e o início da formação da colheita, sua ocorrência provoca redução na taxa de alongamento da cana. Déficit hídrico severo durante a última parte de formação da colheita força o amadurecimento (Doorenbos & Kassan, 1979).

Durante o período de maturação, necessita-se de teor baixo de umidade no solo. Entretanto, quando a planta é privada severamente de água, a perda do teor de açúcar pode ser maior que a própria formação (Doorenbos & Kassan, 1979). Para Andrade (2006), o aumento do teor de sacarose no colmo só se realizará por ocasião da ocorrência de déficit hídrico, ou seja, resultado da condição de seca, já que é necessário a planta cessar o seu desenvolvimento para atingir a maturação. O mesmo autor sugere que em áreas irrigadas, deve-se suspender a irrigação 60 dias antes da colheita.

Rosenfeld (1989), estudando o período crítico de deficiência hídrica para cana planta, concluiu que, o início do estágio de máximo desenvolvimento da cana-planta é o período mais sensível a déficit hídrico. Para cana-de-açúcar plantada em fevereiro e junho, o período mais crítico é o do 4º ao 8º mês de idade, já para a cana plantada em outubro, o período mais crítico é do 8º ao 11º mês. As maiores reduções de produção são provocadas por períodos secos durante o verão em canas com idade de 4 a 8 meses, assim como o período de seca para o crescimento da cana-planta.

Yang (1979), em pesquisa em Taiwan, com irrigação suplementar, verificou que a irrigação, no início do estágio de crescimento, é muito importante confirmando que o estágio de estabelecimento, seguido do período vegetativo, para a cana de açúcar é o mais sensível à deficiência hídrica.

Andrade (2006) comenta que na primeira fase do ciclo da cultura (brotação, perfilhamento e crescimento vegetativo), a cana é bem exigente em termos de clima, principalmente umidade e temperatura. Já na fase de maturação, ela exige período de seca e/ou baixas temperaturas, para que a cana entre em repouso fisiológico e, assim haver acúmulo de sacarose nos colmos.

Existem vários métodos para estimar a quantidade de água perdida por uma cultura, como o do Tanque Classe A e o da tensiometria, que se caracterizam pela sua simplicidade de utilização, custo relativamente baixo e, principalmente, de fácil compreensão e aplicação pelos irrigantes.

O método de Penman-Monteith é o mais utilizado para a estimativa da Evapotranspiração de referência (ET_o), sendo recomendado pela FAO como método padrão para determinar a ET_o, porém, necessita de dados coletados em estações meteorológicas que nem sempre são medidas ou estão disponíveis. Por esse motivo, o método do tanque classe A vem sendo um dos mais empregados em projetos de irrigação (Pereira et al., 1997).

O Tanque Classe A é um método relativamente simples, de custo relativamente baixo, podendo ser instalado no campo próximo à cultura e apresenta resultados satisfatórios, que são provenientes da integração das variáveis climáticas e da cultura (Fernandes, 2008).

Doorenbos & Kassan (1979), afirmam que as necessidades hídricas da cana-de-açúcar são de 1.500 a 2.500 mm uniformemente distribuídos durante o período de desenvolvimento. Nas áreas canavieiras do Brasil, o total de precipitação anual varia de 1.100 a 1.500 mm.ano⁻¹ (Alfonsi et al., 1987). Em termos de precipitação adequada, pode-se generalizar que a cana está sendo cultivada em regiões cujas precipitações vão desde 1.000 até 3.000 mm de lâmina d'água anuais. Abaixo de 1.000 mm anuais, por garantia, é bom se pensar em trabalhar com irrigação (Andrade, 2006).

Para um eficiente manejo da água, é necessário conhecer as necessidades hídricas das culturas irrigadas durante seu ciclo. A estimativa dessa necessidade é baseada em dados da evapotranspiração de referência (ET_o) do local, multiplicados pelo coeficiente da cultura para cada estágio de seu desenvolvimento (Doorenbos & Pruitt, 1997).

Segundo Silva et al. (2000), são poucas as informações e trabalhos sobre os efeitos do déficit hídrico, durante diferentes fases fenológicas da cultura da cana-de-açúcar, no rendimento final. Para uma cultura de 12 meses, o período de maior sensibilidade à aplicação de água corresponde ao estágio de máximo desenvolvimento, mais especificamente entre o sexto e o sétimo mês. Já, para a cana soca, o período inicial (primeiro ao quarto mês) é o mais sensível ao déficit hídrico.

Carretero (1982), desenvolvendo pesquisas com irrigação em cana soca e ressoca, verificou um aumento no rendimento de colmos da cana irrigada de 13,56% em relação à cana não irrigada. Scardua & Souza (1975), em experimentos de irrigação suplementar de cana planta em Araras-SP, obtiveram um aumento de produtividade, proporcionado pela irrigação de 32,8 TCH¹. Guazzelli & Paes (1997) estudaram o comportamento da variedade SP80-1842 (ciclo de cana planta), sob condições de irrigação obtiveram aumento de produtividade de até 30 TCH, correspondente a um acréscimo de 20,8% em relação à cana não irrigada, cujo consumo de água, em função do rendimento da cana-de-açúcar, variou de 7,2 a 8,5 mm.por tonelada de colmos produzidos.

Segundo Costa et al. (2007), o consumo diário de água pela cultura está entre 2 a 6 mm dia⁻¹, sendo que para as condições do Norte de Minas Gerais, a média pode chegar a 3,6 mm dia⁻¹, para um rendimento médio de colmos em cana-planta acima de 100 TCH. Estabelecer uma relação geral entre a produção e consumo de água pela cana de açúcar é muito difícil, devido às variações de localização, de clima e de variedades (Peres, 1988). Este mesmo autor concluiu

que a relação entre o consumo de água e a produção da cana-soca foi de 12,1 mm.por tonelada.

Scardua (1985), trabalhando com irrigação em 5 variedades de cana-de-açúcar, durante 11 anos, obteve um aumento médio de produtividade de apenas 13,2 TCH. Destacou o autor que a maioria das soqueiras pesquisadas era de final de safra, com corte no mês de outubro. Nessa condição, a resposta da cana à irrigação realmente deve ser pequena, porque, nessa época do ano, quando se inicia o primeiro estágio de desenvolvimento das socas, praticamente não existem deficiências hídricas para a cultura, nas condições climáticas do Estado de São Paulo.

Fernandes (2005) estudando o comportamento de cinco variedades de cana-planta, sob irrigação por aspersão, para a produção de cachaça artesanal na região de Salinas, Norte de Minas, encontrou rendimentos médio de colmos de 242 TCH, para a cultivar RB76-5418; 198 t ha⁻¹, para a cultivar RB72-454; 188 TCH, para a cultivar SP80-1842; 176 TCH, para a cultivar SP79-1011 e 145 TCH, para a cultivar JAVA.

A tradição do cultivo exclusivo da cana-de-açúcar de sequeiro é alicerçada no paradigma de que a irrigação é economicamente inviável nas condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. Tal paradigma formou-se ao longo dos últimos 20 anos, através de experimentos, elaborados por especialistas e de análises econômicas de projetos de irrigação de cana-de-açúcar, que via de regra, analisou os custos da irrigação plena, em comparação única com o benefício direto de aumento de produtividade proporcionado pela irrigação. Nessas condições, a viabilidade econômica da tecnologia da irrigação da cana-de-açúcar nunca se mostrou evidente para o empresariado (Matioli, 1998).

A técnica da irrigação em cana de açúcar é menos atrativa do ponto de vista econômico para pequenas e médias lavouras com nível tecnológico intermediário. Seu custo de implantação torna economicamente inviáveis para

aumentos pequenos no rendimento de colmos, na faixa de 10 a 20%, com relação á cana cultivada sem irrigação (Anuário da Agricultura Brasileira Agriannual, 2009).

2.4 Características tecnológicas da cana-de-açúcar

A qualidade da cana fornecida às unidades industriais será aferida, através de análise tecnológica em amostras coletadas no momento de seu fornecimento (Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo - Consecana, 2006).

2.4.1 Brix

Brix é uma medida total de sólidos solúveis. Os sólidos solúveis se constituem basicamente de açúcares (sacarose, frutose e glicose). Por consenso, admite-se o Brix como sendo a porcentagem de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada.

Para colheita dos colmos a cana deve ter, entre outras características, um caldo que contenha no mínimo 18° Brix, ou seja, 18% de sólidos solúveis (Franco, 2003, Andrade, 2006).

São os fatores climáticos (baixa temperatura e/ou déficit hídricos que fazem com que a cana-de-açúcar passe do estágio vegetativo (intensa produção de biomassa vegetal) para o estágio de maturação, ocorrendo uma paralisação do crescimento vegetativo e acúmulo progressivo de sacarose nas células isodiamétricas do tecido parenquimatoso do colmo. Sendo a sacarose um dos principais sólidos do caldo (80-90%), o aumento do seu conteúdo acaba por resultar em aumento do Brix do caldo. Como se trata de uma determinação relativamente simples, a determinação do Brix do caldo pode facilmente dar subsídios para avaliação do estágio de maturação em que se encontra um determinado talhão de cana (Franco, 2003).

O critério mais racional de estimar a maturação pelo refratômetro de campo é pelo índice de maturação (IM), que é o quociente da relação, Brix da ponta do colmo e o Brix da base do colmo. Aditem-se para a cana-de-açúcar os seguintes estágios de maturação: IM menor que 0,60, significa cana verde, IM de 0,60 a 0,85, cana em maturação, IM de 0,85 a 1,0 cana madura e IM maior que 1,0 cana em declínio de maturação (Andrade, 2006).

2.4.2 Pol

Pol é definida como a quantidade de sacarose, em porcentagem, presente na cana. Sacarose é o açúcar mais importante e sintetizado em maior quantidade pela cana-de-açúcar (Fernandes, 2000). Segundo este autor, uma cana para ser considerada madura deve apresentar Pol (% cana) variando de 14,4 (início da safra) a 15,3 (transcorrer da safra). Deuber (1988) afirma que uma cana de açúcar torna-se madura no momento em que apresentar teor mínimo de sacarose com Pol (% cana) acima de 13.

Na colheita dos colmos o pol deve ser de 14,7% na cana-planta e 16,7% na cana-soca (Franco, 2003). Segundo Fernandes (2000), este valor deve ser maior ou igual que 14,4%.

2.4.3 Fibra

Define-se fibra como o conjunto de substâncias insolúveis em água, sendo constituída principalmente de celulose, lignina e pentosanas. É o material que dá sustentação à planta e a formação dos órgãos de condução da seiva e estocagem do caldo e seus constituintes (Fernandes, 2000).

A fibra é importante na indústria, uma vez que está relacionada com a moagem e balanço térmico da fábrica. A fibra também é empregada nos cálculos de determinações expressas em porcentagem de cana, como a Pol, açúcar total

recuperável (ATR), açúcares redutores (AR) e demais parâmetros que definem a qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. Na verdade, há dificuldade de se conhecer o teor real de fibra em função dos vários fatores envolvidos (Stupiello, 2002).

As variedades são normalmente classificadas em baixo, médio e alto teor de fibra. Mas este é um conceito subjetivo e a classificação baseia-se em dados médios de análise de cana limpa, cujos valores são extremamente variáveis (Fernandes, 2000). A variação do teor de fibra é função da variedade, tipo de solo, período de safra, idade do canavial, das condições climáticas e práticas culturais. O teor ideal de fibra está na faixa de 10 a 16%, sendo a média em torno de 12%, para a região Centro-Sul e de 14% para a região Norte-Nordeste (Fernandes, 2000; Stupiello, 2002; Horii, 2004; Nogueira & Venturini Filho, 2005).

A análise de mais de três mil amostras de cinco importantes variedades (representantes de 40% da área colhida em São Paulo em 1999) mostrou média da fibra de 11,35%. Os dados do sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose de São Paulo mostram que a fibra “industrial” oscilou entre 13% e 14% de 1987 a 1998 (Fernandes, 2000). Na cana industrial, ou seja, na cana disposta na esteira de uma usina, por conta das impurezas que acompanham a matéria-prima (impurezas vegetais e minerais), o teor encontrado para fibra são maiores, da ordem de 14-15% (COPERSUCAR, 1980).

De acordo com Marques et al. (2001) na fase de extração o aumento no teor de fibra de cana resulta na dificuldade da moenda em extrair a sacarose. Isso acontece, pois a fração do caldo, uma vez extraída, em parte é reabsorvida pela fibra da cana. A quantidade reabsorvida varia de forma proporcional ao teor de fibra na matéria-prima. Isso vai resultar em maiores perdas de sacarose no bagaço, ou seja, menor eficiência nas moendas. Para Andrade (2006), a cana com baixo teor de fibra pode inviabilizar o balanço energético da indústria.

Quando isso acontece, a empresa tem que utilizar outras fontes de energia tais como o óleo diesel, lenha, etc.

2.4.4 Pureza

É a porcentagem de sacarose aparente contida nos sólidos solúveis totais do caldo. Enquanto na cana em período de crescimento a pureza é baixa, devido particularmente à formação e consumo de açúcares para o crescimento, na maturação o acúmulo de sacarose vai elevando a pureza devido ao aumento dos açúcares em relação aos sólidos solúveis (Stupiello, 2002).

Quanto maior a pureza, melhor a qualidade da matéria prima. Por ocasião de sua utilização o valor mínimo deve ser de 80% (Andrade, 2006). No Estado de São Paulo essa variável deve ser no mínimo 80% (início da safra) ou 85% (transcorrer da safra) para que seja recomendada a industrialização da cana (Fernandes, 2000). A alta pureza na cana é prenúncio de maior extração de açúcar e de altos rendimentos (Stupiello, 2002).

Normalmente a cana fertilizada com vinhaça apresenta caldos com pureza menores do que cana fertilizada com sais minerais. A importância da pureza decorre da influência da mesma na fase de cozimento do xarope (Franco, 2003).

2.4.5 Açúcares redutores (AR)

Açúcares redutores é a quantidade de massa de glicose e frutose presente na cana. Segundo Segato et al. (2006), os açúcares redutores (glicose + frutose), quando em teores elevados, denunciam um estágio pouco adiantado de maturação (cana verde), com a presença de outras substâncias indesejáveis, como amido. Dessa forma canas com estágio de maturação menos avançadas apresentam menores teores de sacarose e maiores teores de açúcares redutores. Por outro lado, canas em estágios mais avançados de maturação, com o transcorrer desse processo, têm aumentado progressivamente o teor de sacarose

ao mesmo tempo em que há diminuição progressiva no teor de açúcares redutores. Entretanto, esse comportamento esperado nem sempre ocorre, pois o mesmo sofre interferências de fatores externos como: umidade do solo, fertilização excessiva principalmente no que se refere à adubação nitrogenada, presença de matéria orgânica no solo, aplicação de resíduos orgânicos, os quais atuam no sentido de prolongar a fase vegetativa da cana (Franco, 2003).

Os açúcares redutores são produtos precursores de cor no processo industrial de açúcar, isto é, intensificam a cor do açúcar, depreciando sua qualidade (Fernandes, 2000). O teor ideal de açúcares redutores deve ser menor ou igual a 1,4% (Andrade, 2006).

2.4.6 Açúcar Total Recuperável (ATR)

O açúcar total recuperável é um termo empírico e representa todos os açúcares na forma de açúcares invertidos. Para a indústria sucroalcooleira, é importante estimar a quantidade de sacarose na matéria-prima, que é passível de ser recuperada (Fernandes, 2000). O atual modelo de pagamento de cana nas usinas é denominado sistema de remuneração da tonelada de cana pela qualidade. Para efeito de cálculo do valor da tonelada da cana-de-açúcar, considera-se a quantidade de ATR, contida na matéria prima. Segundo Segato et. al. (2006), uma cana madura pode chegar a 165-170 kg de ATR por tonelada de cana. Já o valor mínimo, na época da colheita, deve estar próximo a 130 kg de ATR (Andrade, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em área experimental de cana-soca com relevo suavemente inclinado, em propriedade da cachaçaria João Mendes – “JM”, localizada no município de Perdões, situada na região campos das vertentes do Estado de Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são: latitude 21°03' S, e longitude 45°00' W, e altitude média de 826 m.

O experimento teve início em setembro de 2006 com coleta de amostras de solo para análise preliminar e estabelecimento dos tratamentos e término em setembro de 2008, totalizando um período de 730 dias. Para o presente trabalho foram utilizados dados referentes aos 3^o e 4^o cortes da cana produzida na mesma área a onde se colheu a primeira soca no final do mês de agosto de 2006.

De acordo com a classificação climática internacional de Köppen (Antunes, 1980), o clima da região é do tipo Cwb, caracterizado por uma estação seca entre abril e setembro e uma estação chuvosa de outubro a março. A região apresenta uma média anual de precipitação pluvial de 1493,2 mm de lâmina d'água e temperatura média diária de 19,3°C (Brasil, 1992).

O solo no qual o experimento foi instalado caracteriza-se como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura argilosa, muito profundo e bem drenado (EMBRAPA, 2006). As análises físicas e químicas foram realizadas em amostras representativas das camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade, pelo Laboratório de Física e de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As variáveis de caracterização física e química foram determinadas empregando-se os procedimentos metodológicos recomendados pela (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 1997).

3.1.1 Análises físicas

Os resultados das análises físicas do solo utilizado no experimento, relativos a coleta realizada no início do experimento (set/2006) são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Para a determinação da curva característica de retenção de água no solo, amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade e levadas ao Laboratório de Física do Solo (DCS/UFLA) para análise.

TABELA 1 Resultados da análise física do solo da área experimental, em setembro de 2006.

| Camada (cm) | Análise textural | | | D_g | D_r |
|----------------|---------------------------------|-------|--------|-------------------------------|-------|
| | Areia | Silte | Argila | | |
| | -----dag kg ⁻¹ ----- | | | -----g cm ⁻³ ----- | |
| 0-20 | 41 | 16 | 43 | 1,10 | 2,52 |
| 20-40 | 42 | 15 | 43 | 1,15 | 2,54 |

| Camada (cm) | Pontos da curva de retenção (kPa) | | | | | | | |
|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1500 | 500 | 100 | 33 | 10 | 6 | 4 | 2 |
| | -----cm ³ cm ⁻³ ----- | | | | | | | |
| 0-20 | 0,163 | 0,179 | 0,242 | 0,246 | 0,301 | 0,395 | 0,511 | 0,644 |
| 20-40 | 0,173 | 0,177 | 0,241 | 0,253 | 0,294 | 0,491 | 0,533 | 0,642 |

D_g = densidade global, D_r = densidade real.

Os valores de potencial matricial e umidade do solo foram ajustados ao modelo de Mualem-Van Genuchten (Genuchten, 1980), dado pela equação 1:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha |\psi m|)^n\right]^m} \quad (1)$$

em que:

θ = Umidade atual do solo (cm³ cm⁻³);

θ_r = Umidade residual que representa o valor de umidade para o ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s = Umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

ψm = Potencial matricial (kPa);

α , n e m = Parâmetros de ajuste do modelo.

Os parâmetros da equação de Mualem-Van Genuchten foram estimados com base nos dados observados de retenção de água no solo, mediante o uso de planilhas eletrônicas Excel®, providas de ferramentas para ajuste de curva, segundo modelo descrito por Andrade et al. (2008) e encontram-se apresentados na Tabela 2. Em seguida pode-se observar suas respectivas equações ajustadas (Equação 2 e 3) gerada com o modelo de Mualem – Van Genuchten. A partir dessas equações e dos valores observados foram geradas as curvas de retenção da água no solo para as camadas em estudo (Figura 1).

TABELA 2 Valores de α , m , n , θ_r , θ_s e R^2 para a amostra de solo coletada no local de realização do experimento.

| Camada (cm) | α | n | m | θ_r | θ_s | R^2 |
|-------------|----------|-------|-------|------------|------------|-------|
| 0-20 | 0,300 | 1,700 | 0,437 | 0,189 | 0,560 | 0,94 |
| 20-40 | 0,105 | 1,800 | 0,990 | 0,211 | 0,545 | 0,97 |

$$\theta_{(0-20cm)} = 0,189 + \frac{0,371}{\left[1 + (0,300 \cdot |\psi m|)^{1,70}\right]^{0,437}} \quad (2)$$

$$\theta_{(20-40cm)} = 0,211 + \frac{0,334}{\left[1 + (0,105 \cdot |\psi m|)^{1,80}\right]^{0,99}} \quad (3)$$

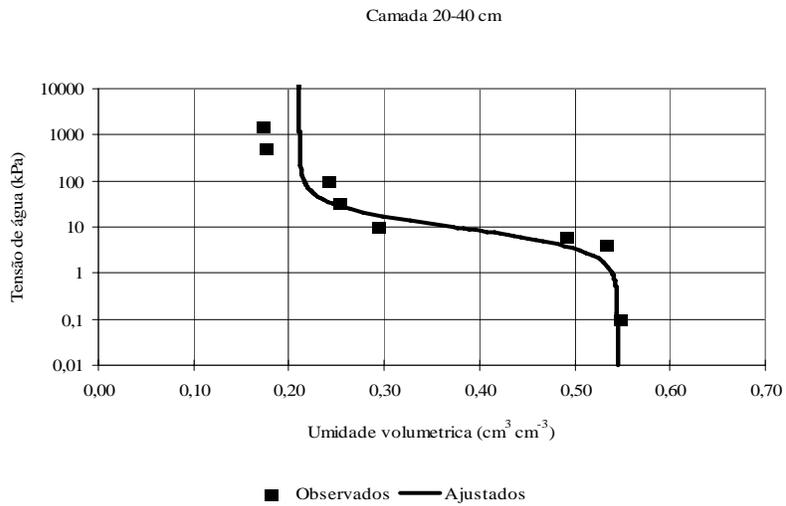
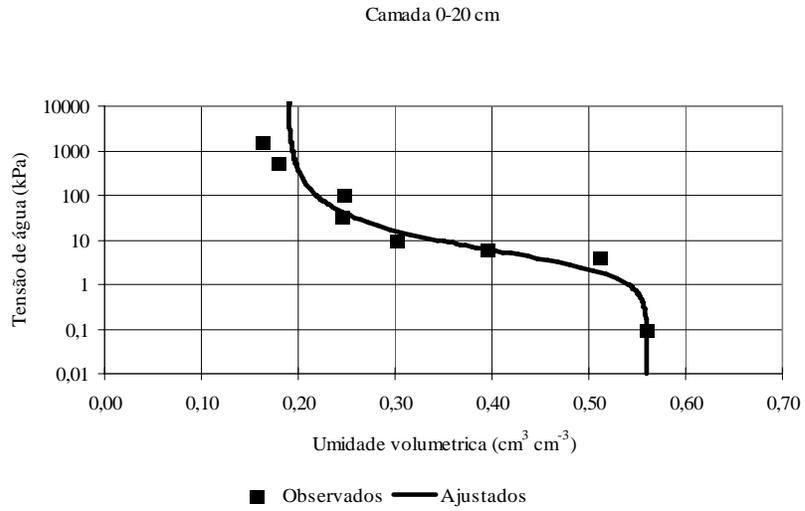


FIGURA 1 Curva característica de retenção de água no solo, da área experimental, nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, gerada utilizando-se o modelo proposto por Mualem-Van Genuchten (Genuchten, 1980).

3.1.2 Análises químicas

Na Tabela 3 são descritos os teores de nutrientes encontrados no solo antes de ser instalado o experimento (setembro de 2006). Para a obtenção dessas características químicas foram coletadas amostras de solo de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSMG (1999).

TABELA 3 Resultados das análises químicas do solo da área experimental em setembro de 2006.

| Sigla | Descrição | Unidade | Camada (cm) | |
|------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------|----------|
| | | | 0 – 20 * | 20-40 * |
| pH | Em água (1:2,5) | - | 5,2 (AM) | 5,5 (AM) |
| P | Fósforo disp. (Mehlich 1) | mg.dm ⁻³ | 0,9 (MB) | 0,6 (MB) |
| K | Potássio disponível | mg.dm ⁻³ | 23 (B) | 17 (B) |
| Ca ²⁺ | Cálcio trocável | cmol _c .dm ⁻³ | 1,0 (b) | 1,1 (b) |
| Mg ²⁺ | Magnésio trocável | cmol _c .dm ⁻³ | 0,4 (B) | 0,6 (M) |
| Al ³⁺ | Acidez trocável | cmol _c .dm ⁻³ | 0,2 (MB) | 0,2 (MB) |
| H+Al | Acidez potencial | cmol _c .dm ⁻³ | 3,2 (M) | 3,2 (M) |
| SB | Soma de bases | cmol _c .dm ⁻³ | 1,5 (B) | 1,7 (B) |
| (t) | CTC efetiva | cmol _c .dm ⁻³ | 1,7 (B) | 1,9 (B) |
| (T) | CTC pH 7 | cmol _c .dm ⁻³ | 4,7 (M) | 4,9 (M) |
| V | Saturação por bases | % | 31,5 (B) | 35,2 (B) |
| M | Saturação por Al ³⁺ | % | 12 (MB) | 10 (MB) |
| MO | Matéria orgânica | dag.Kg ⁻¹ | 2,0 (B) | 1,9 (B) |
| Zn | Zinco disponível | mg.dm ⁻³ | 0,2 (MB) | 0,8 (B) |
| Fe | Ferro disponível | mg.dm ⁻³ | 45,6 (A) | 43,5 (b) |
| Mn | Manganês disponível | mg.dm ⁻³ | 2,7 (B) | 3,0 (B) |
| Cu | Cobre disponível | mg.dm ⁻³ | 20,2 (A) | 8,4 (A) |
| B | Boro disponível | mg.dm ⁻³ | 0,2 (B) | 0,2 (B) |

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo – DCS/UFLA.

* A = alto; b = bom; M = médio; B = baixo; MB = muito baixo; AM = acidez média (Alvarez et al., 1999).

3.2 Cultivar utilizada

O experimento foi instalado sobre a cultivar SP80-1816 em cana-soca, em terceiro e quarto corte. Tal cultivar apresenta as seguintes características: bom perfilhamento, bom fechamento de entrelinhas, alta produtividade agrícola,

não é exigente em solos de alta fertilidade, maturação média, muito rica em sacarose e baixo teor de fibra (Fernandes, 1991).

Em Minas Gerais, nas principais regiões produtoras de cachaça, a cultivar SP 80-1816 é considerada de alta produtividade agrícola, alto teor de sacarose, maturação média, médio número de colmos por metro linear, média exigência em fertilidade do solo, não floresce e é tolerante às principais doenças (Silveira et al., 2002).

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições, com os tratamentos dispostos no esquema fatorial 4x2. Os tratamentos constaram de quatro doses de vinhaça de alambique (0, 100, 150 e 200 m³ ha⁻¹) e duas doses de adubação nitrogenada (0 e 60 kg ha⁻¹ de N), conforme Tabela 4.

Os tratamentos foram aplicados em cobertura, após brotação da soqueira, em dosagem única sobre o palhiço remanescente da cana soca, em outubro de 2006 e agosto de 2007. As doses de vinhaça foram aplicadas com o auxílio de um mangote acoplado a um tanque tracionado por trator. A adubação nitrogenada foi feita de forma manual, logo após aplicação da vinhaça.

Cada parcela experimental foi composta de cinco linhas de cana de açúcar com 14,30 m de comprimento, espaçada de 1,4 m entre si, ocupando área de 100,10 m²; como área útil foi considerada as três linhas centrais, totalizando 60,06 m² de área útil. As parcelas foram delimitadas por estacas de madeira e separadas por carregadores transversais de 1,00 m de largura. Entre os blocos foram deixados carregadores de 2,80 m de largura, para facilitar o trânsito de máquinas e implementos.

TABELA 4 Tratamentos analisados no experimento.

| Tratamentos | Caracterização |
|----------------|--|
| T ₁ | 0 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça + 0 kg ha ⁻¹ de N |
| T ₂ | 100 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça + 0 kg há ⁻¹ de N |
| T ₃ | 150 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça + 0 kg há ⁻¹ de N |
| T ₄ | 200 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça + 0 kg há ⁻¹ de N |
| T ₅ | 0 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça + 60 kg ha ⁻¹ de N |
| T ₆ | 100 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça + 60 kg ha ⁻¹ de N |
| T ₇ | 150 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça + 60 kg ha ⁻¹ de N |
| T ₈ | 200 m ³ ha ⁻¹ de vinhaça + 60 kg ha ⁻¹ de N |

Durante a pesquisa, dois diferentes lotes de vinhaça de alambique foram utilizados. Sua caracterização química foi realizada em outubro de 2006 e agosto de 2007 pelo Laboratório de Análise Química de Solo e Planta do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental da Universidade Federal de São Carlos – UFScar.

3.4 Manejo da irrigação

A irrigação utilizada nos tratamentos foi aspersão convencional, aspersores marca Hidra, setorial 1.1/2”, de média pressão (300 kPa), com dois bocais (14 x 5 mm), instalados no espaçamento 30 m x 24 m, com ângulo de giro de 180⁰ e funcionamento setorial.

A estimativa da evapotranspiração máxima da cultura (ET_c) foi feita com base nos dados de evaporação do Tanque Classe A, considerando o coeficiente de tanque (K_p) e coeficiente da cultura (K_c) recomendados por Doorenbos & Kassan (1979). Os dados de evaporação e precipitação foram obtidos diariamente, em Tanque Classe A e pluviômetro instalados na cachaçaria JM, próximo da área experimental.

Os dados diários de umidade, evaporação e precipitação foram contabilizados e relacionados com o coeficiente de tanque (Doorenbos & Kassan, 1979), a fim de se obter valores da evapotranspiração de referência (ET_o) diários. A partir dos valores de ET_o diários e dos coeficientes de cultura das diferentes fases de desenvolvimento, conforme Tabela 5, foi estimada a evapotranspiração máxima.

TABELA 5 Valores dos coeficientes de cultura (K_c) utilizados no experimento¹.

| Períodos de desenvolvimento | Duração (dias) | (K_c) |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Do plantio até 0,25 de cobertura | 30 | 0,55 |
| De 0,25 a 0,50 de cobertura | 30 | 0,80 |
| De 0,50 a 0,75 de cobertura | 15 | 0,90 |
| De 0,75 à cobertura completa | 45 | 1,00 |
| Utilização máxima | 180 | 1,05 |

¹Doorenbos & Kassan, (1979)

No ambiente irrigado, terceiro e quarto corte, a primeira irrigação foi realizada elevando-se a umidade do solo a capacidade de campo. De posse da umidade atual e com aquela correspondente à capacidade de campo e, ainda, considerando a profundidade do sistema radicular (0,40 m), foi calculada a primeira irrigação (Equação 4 a 6) e, finalmente, o tempo de funcionamento do sistema de irrigação (Equação 7), de acordo com Bernardo et al. (2005).

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) \cdot Z \quad (4)$$

em que:

LL = lâmina líquida de irrigação (mm);

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo (cm³ cm⁻³);

θ_{atual} = umidade no momento de irrigar ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

$$LB = \frac{LL}{Ea} \quad (5)$$

em que:

LB = lâmina bruta de irrigação (mm);

Ea = eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação.

$$Ia = \frac{qa}{E1xE2} \quad (6)$$

em que:

Ia = intensidade de aplicação de água pelo aspersor (mm h^{-1}).

qa = vazão do aspersor (L h^{-1});

$E1$ = espaçamento entre linhas de aspersores (m)

$E2$ = espaçamento entre aspersores (m)

$$TI = \frac{LB}{Ia}$$

(7)

em que:

TI = tempo de funcionamento do sistema de irrigação por posição.

Após a primeira irrigação realizou-se o manejo usando o método do turno de rega fixo (7 dias). Para isso, foi determinada a lâmina de água consumida pela cultura (ETc). Os dados da ETc diária no presente caso foram estimados através da Equação 8.

$$ETc = Kc.Kt.ECA \quad (8)$$

em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm);

Kc = coeficiente da cultura;

Kt = coeficiente do tanque;

ECA = evaporação de água do Tanque Classe A (mm).

3.5 Precipitação, irrigação e evapotranspiração da cultura (ETc)

Os dados referentes às lâminas de água mensais ao longo de cada ciclo da cultura da cana de açúcar, devidos à precipitação e a irrigação, bem como a evapotranspiração da cultura (ETc), estão apresentados nas Figuras 2 e 3.

Para a cana de 3^o corte (Figura 2) foram realizadas 17 irrigações. O total de água que a cultura recebeu foi de 1457,06 mm, sendo 411,66 mm pela irrigação e 1045,4 mm pela precipitação. Neste ambiente a demanda de água pela cultura da cana de açúcar, estimada pela evapotranspiração da cultura (ETc) foi de 988,92 mm.

Para a cana de 4^o corte (Figura 3) foram realizadas 22 irrigações, sendo 520,14 mm aplicados via irrigação e 1207,46 mm recebidos pela precipitação; totalizando 1727,60 mm. Neste ambiente a demanda de água pela cultura da cana-de-açúcar, estimada pela evapotranspiração da cultura (ETc) foi de 816,50 mm.

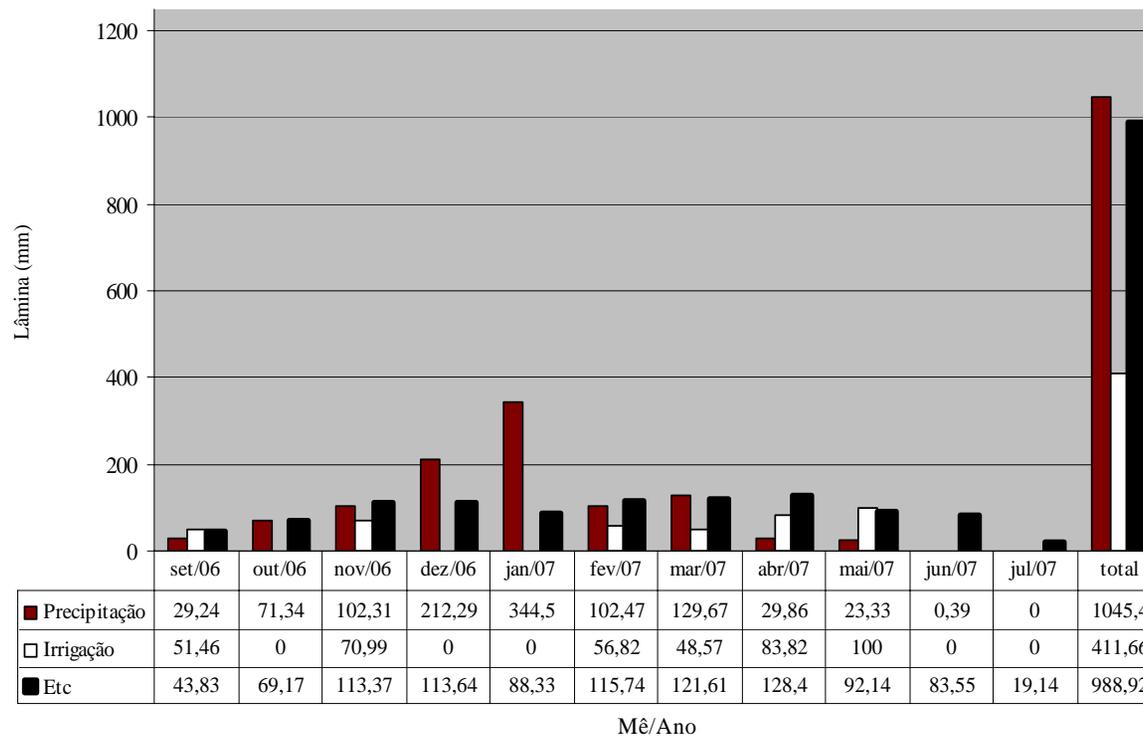


FIGURA 2 Dados mensais de água aplicada na cultura da cana-de-açúcar por irrigação, precipitação e evapotranspiração da cultura (ETc), no período de setembro/2006 a julho/2007.

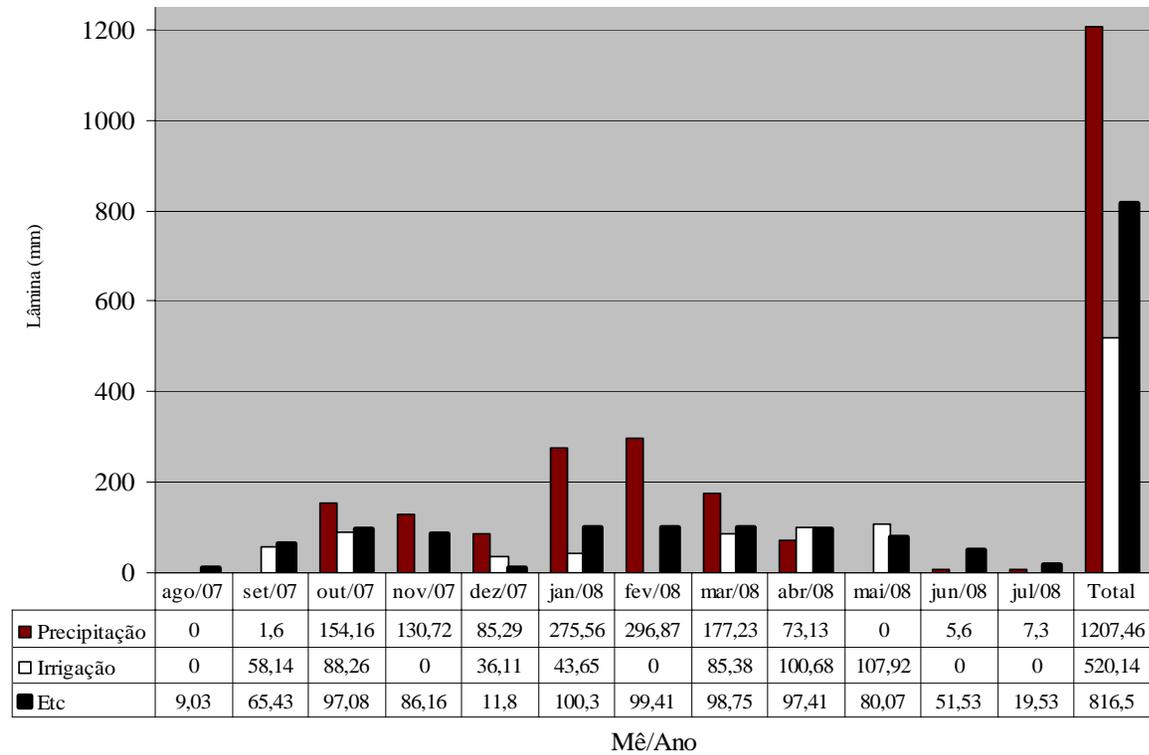


FIGURA 3 Dados mensais de água aplicada na cultura da cana-de-açúcar por irrigação, precipitação e evapotranspiração da cultura (ETc), no período de agosto/2007 a julho/2008.

A resposta à irrigação na cultura da cana-de-açúcar depende do estágio de desenvolvimento em que ela se encontra no momento da aplicação da água. Analisando-se a demanda de água pela cana-de-açúcar, em função das diferentes fases fenológicas, observa-se que na cana de 3^o corte (Figura 2), houve a necessidade de irrigação suplementar, nos meses de setembro, novembro de 2006 e fevereiro, março, abril e maio de 2007, mesmo ocorrendo precipitações em quantidades praticamente iguais a demanda de água pela cultura (ETc), nos meses de novembro de 2006; fevereiro e março de 2007. Fato semelhante ocorreu na cana de 4^o corte (Figura 3), nos meses de outubro de 2007 e janeiro, março de 2008, período em que a precipitação foi superior a demanda de água pela cultura. Isto se explica, devido à má distribuição das precipitações pluviométricas, ou seja, ocorreram veranicos (períodos secos no meio do período chuvoso). Neste caso, para evitar diminuição no rendimento de colmos da cana de açúcar, deve-se dispor de irrigação. Portanto, mesmo em regiões onde a precipitação pluviométrica é superior a evapotranspiração da cultura, ocorrendo períodos de déficit hídrico, justifica-se o uso da irrigação suplementar para atender adequadamente a demanda de água pela cultura.

Segundo Dalri et al. (2008) a resposta da cana-de-açúcar à irrigação durante o período vegetativo é maior que durante a última parte do período de formação da colheita, quando a área foliar ativa está diminuindo e a cultura apresenta menor capacidade de resposta à luz solar. O estágio de estabelecimento, seguido do período vegetativo são os mais sensíveis à deficiência hídrica (Doorenbos & Kassan, 1979; Rosenfeld, 1989).

3.6 Caracterização da vinhaça de alambique

Na cachaçaria JM, a vinhaça é proveniente de mosto oriundo da fração extraída do caldo absoluto existente nos colmos, além da água que é adicionada durante o processo de diluição do caldo. A vinhaça é gerada em uma proporção

de 8 a 10 litros para cada litro de cachaça produzida. A vinhaça “in natura”, antes de sua utilização no experimento, foi diluída com água de lavagem das dornas de fermentação e alambique, cuja composição química final encontra-se na Tabela 6.

TABELA 6 Composição química da vinhaça diluída utilizada na área experimental, em outubro/2006 e agosto/2007. Cachaçaria JM, Perdões, MG.

| Elementos | Unidade | outubro/2006 | agosto/2007 | Média |
|--|--------------------|--------------|-------------|-------|
| pH | | 3,30 | 3,50 | 3,4 |
| Matéria orgânica | % | 16,21 | 21,72 | 18,98 |
| Nitrogênio (N) | kg.m ⁻³ | 0,23 | 0,33 | 0,28 |
| Fósforo (P ₂ O ₅) | kg.m ⁻³ | 0,07 | 0,20 | 0,13 |
| Potássio (K ₂ O) | kg.m ⁻³ | 0,74 | 0,88 | 0,80 |
| Cálcio (CaO) | kg.m ⁻³ | 0,14 | 0,13 | 0,13 |
| Magnésio (MgO) | kg.m ⁻³ | 0,14 | 0,13 | 0,13 |
| Enxofre (SO ₄) | kg.m ⁻³ | 0,33 | 0,35 | 0,34 |
| Ferro (Fe) | ppm | 24 | 22 | 23 |
| Zinco (Zn) | ppm | 2,4 | 3,9 | 3,15 |
| Manganês (Mn) | ppm | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Cobre (Cu) | ppm | 1,7 | 0,6 | 1,15 |

Fonte: Laboratório de Análise Química de Solo e Planta do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental da Universidade Federal de São Carlos – UFScar.

Verifica-se pela Tabela 6 que a vinhaça de alambique é rica em matéria orgânica, apresenta quantidades razoáveis de K, S, N, Ca e Mg, além de uma pequena parcela de fósforo. Dos micronutrientes analisados, o Fe aparece em maior concentração, seguido do Zn, Cu e Mn. Observa-se também que a composição química da vinhaça é variável em função da época de amostragem. Estes dados estão de acordo com os observados por outros autores (Demattê, 1992; Elia Neto & Nakahondo, 1995; Gava et al., 2001; Paulino et al., 2002; Azania et al., 2003; Nogueira et al., 2007; Siqueira, 2008).

Na Tabela 7 estão expressos os resultados da equivalência em fertilizantes minerais (N - P₂ O₅ - K₂O) em função das dosagens de vinhaças utilizadas no experimento.

TABELA 7 Quantidade em kg ha⁻¹ equivalente com fertilizantes minerais da vinhaça de alambique utilizada no experimento.

| Vinhaça de Alambique m ³ ha ⁻¹ | Outubro 2006 | | | agosto 2007 | | |
|---|--------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| 100 | 23 | 7 | 74 | 33 | 20 | 88 |
| 150 | 34,5 | 10,5 | 111 | 49,5 | 30 | 132 |
| 200 | 46 | 14 | 146 | 66 | 40 | 176 |

É trivial que a recomendação de adubação potássica, para a cultura da cana de açúcar, seja feita de acordo com a análise de solo e produtividade esperada. No caso em estudo a recomendação segundo Andrade (2006), para o ambiente irrigado e não irrigado, seria de 140 e 110 kg de K₂O ha⁻¹, respectivamente. Com relação à adubação nitrogenada para cana-soca o mesmo autor, recomenda aplicar o equivalente a 80 kg de N ha⁻¹.

Portanto, verifica-se, que as dosagens de 200 e 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça de alambique, utilizadas neste experimento, foram suficientes para substituir totalmente a recomendação da adubação com potássio, no ambiente irrigado e não irrigado, respectivamente. Todavia para atender a adubação nitrogenada se faz necessário complementar a vinhaça. De qualquer forma, fica evidente o grande potencial da vinhaça de alambique como fertilizante na adubação da cana soca, conforme já foi confirmado por vários autores estudando a vinhaça proveniente de destilaria de açúcar e álcool (Glória & Orlando Filho, 1983; Rosseto 1987; Konkell, 1991, Freire & Cortez, 2000; Demattê, 1992; Elia Neto & Nakahondo, 1995; Gava et al., 2001; Paulino et al., 2002; Azania et al., 2003; Nogueira et al., 2007; Siqueira, 2008).

3.7 Características avaliadas

Por ocasião das colheitas, realizadas em julho de 2007 e 2008, foram contados o total de colmos na área útil da parcela e determinado o número médio de colmo por metro.

Por ocasião das colheitas foram retirados 15 colmos de cana-de-açúcar ao acaso na área útil de cada parcela, os quais foram despontados para determinar o seu comprimento e diâmetro.

Os rendimentos de colmos foram obtidos a partir da determinação do peso total de colmos por área útil da parcela, sendo posteriormente feita à transformação para toneladas de cana por hectare (TCH).

Para avaliar as características tecnológicas da cana, imediatamente após colheita, foram retirados, aleatoriamente, 15 colmos seguidos na área útil de cada parcela, eliminando-se o palmito e a palha. Após identificação os colmos foram enfeixados, identificados e enviados para o laboratório da destilaria Alvorada do Bebedouro Ltda, em Guaranésia, Minas Gerais, para determinação dos teores de sólidos solúveis brix (% cana), sacarose recuperável (% cana), fibra industrial Fibra (% cana), pureza (% cana), açúcares redutores AR (% cana) e açúcares totais recuperáveis (ATR), segundo COPERSUCAR (1980).

3.8 Análises estatísticas

Para as análises estatísticas os ambientes irrigados e não irrigados combinados com os 3^o e 4^o cortes foram chamados simplesmente de quatro ambientes e representados por: ambiente com irrigação, terceiro corte (Ci3); ambiente com irrigação, quarto corte (Ci4); ambiente sem irrigação, terceiro corte (Si3) e ambiente sem irrigação, quarto corte (Si4).

Os dados obtidos foram submetidos à análise conjunta de variância de acordo com esquema para experimentos fatoriais (Gomes, 2000). Quando houve efeito significativo das doses de vinhaça utilizou a análise de regressão para

expressar seus efeitos e para comparação dos ambientes utilizou-se o teste de Tukey (5%). Para nitrogênio aplicou-se o teste F.

Para determinação do máximo rendimento de colmos em função da dose de vinhaça complementada ou não com nitrogênio, foi determinada a primeira derivada da equação de regressão e igualando-a a zero, determinou-se a dose recomendada para se obter o máximo rendimento. Substituindo o valor das variáveis para o ponto de máximo rendimento na função, encontrou-se o rendimento máximo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características da cana-de-açúcar

4.1.1 Número de colmos por metro

Pelo resumo da análise conjunta de variância para número de colmos por metro (Tabela 8), verifica-se que houve efeito significativo para ambiente, assim como para vinhaça e interação vinhaça x nitrogênio.

TABELA 8 Resumo da análise conjunta da variância para número de colmos por metro da cana-de-açúcar cultivar SP80-1816, na época da colheita, quanto a aplicação de vinhaça com e sem complementação nitrogenada.

| Fontes de variação | G. L. | Q.M. |
|--------------------|-------|----------|
| Ambiente (A) | 3 | 12,09 ** |
| Bloco/Ambiente | 8 | 0,21 |
| Vinhaça (V) | 3 | 2,32 * |
| Nitrogênio (N) | 1 | 0,01 |
| V x N | 3 | 2,58 * |
| A x V | 9 | 0,36 |
| A x N | 3 | 0,01 |
| A x V x N | 9 | 0,98 |
| Erro médio | 56 | 51,87 |
| C.V. (%) | | 9,51 |
| Média | | 9,62 |

Em que:

* = significativos a 5% de probabilidade pelo teste F.

** = significativos a 1% de probabilidade pelo teste F.

Verifica-se pela Tabela 9, que o maior número de colmos por metro foi obtido na colheita na cana Irrigada – 3^o corte apresentando 10,58 colmos. O

menor número de colmos obtido foi na cana não irrigada - 4^a corte (8,99). Na cana de 3^o corte o número médio de colmos por metro, no ambiente irrigado, foi significativamente maior e 8,95% superior ao obtido no ambiente não irrigado. Já no 4^o corte, não houve diferença significativa do número de colmos por metro entre os ambientes irrigado e não irrigado.

TABELA 9 Número de colmos por metro por ocasião da colheita da cana-de-açúcar nos diferentes ambientes.

| Ambiente | Número de colmos por metro |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Irigado – 3 ^o corte | 10,58 a |
| Não irrigado – 3 ^o corte | 9,71 b |
| Irigado – 4 ^a corte | 9,19 bc |
| Não irrigado – 4 ^o corte | 8,99 c |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quando se fez a complementação nitrogenada (60 kg de N ha⁻¹) na adubação onde aplicou a vinhaça (Figura 4), observou-se aumento significativo do número de colmos, até a dose de 150 m³ ha⁻¹. Esses valores estão coerentes com os encontrados por Dantas Neto et al. (2006), que estudando a resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação, verificaram que a adubação da cana-de-açúcar com nitrogênio e potássio, em cobertura, proporcionou maior sobrevivência no número de colmos da cana soca. O nitrogênio mineral é um elemento importante no perfilhamento da cana de açúcar (Silva & Casa Grande, 1983; Prado & Pancelli, 2008).

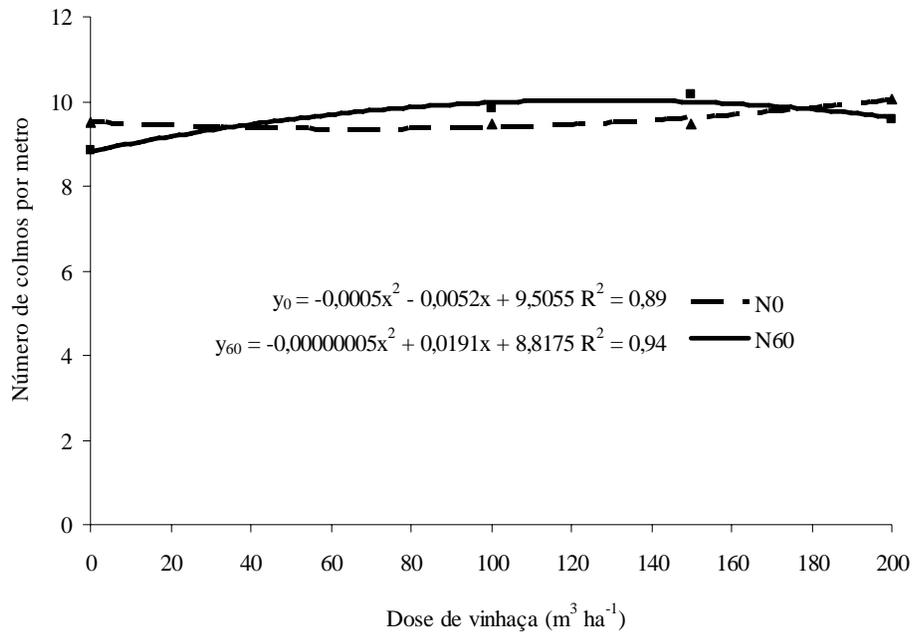


FIGURA 4 Equação de regressão para número de colmos por metro, em função das doses de vinhaça na ausência (N0) e presença de nitrogênio (N60).

4.1.2 Comprimento e diâmetro de colmo

O resumo da análise conjunta de variância realizada para comprimento e diâmetro de colmos, em função das diferentes doses de vinhaça e nitrogênio aplicadas, nos diferentes ambientes, está apresentado na Tabela 10. Verifica-se que ocorreram efeitos significativos para ambiente e vinhaça nas duas características e somente para diâmetro é que houve efeito significativo para a interação vinhaça x nitrogênio.

TABELA 10 Resumo da análise conjunta de variância para comprimento e diâmetro de colmo da cana-de-açúcar, nos 3^o e 4^o cortes, quanto à aplicação de vinhaça com e sem complementação nitrogenada.

| Fonte de Variação | G.L | Comprimento de colmo (m) | Diâmetro de colmo (mm) |
|-------------------|-----|--------------------------|------------------------|
| Ambiente (A) | 3 | 43,96 ** | 36,46 ** |
| Bloco/Ambiente | 8 | 1,88 | 1,71 |
| Vinhaça (V) | 3 | 6,56 ** | 10,01 ** |
| Nitrogênio (N) | 1 | 0,03 | 0,03 |
| V x N | 3 | 2,08 | 6,62 ** |
| A x V | 9 | 0,79 | 2,08 |
| A x N | 3 | 0,69 | 0,93 |
| A x V x N | 9 | 0,92 | 3,36 |
| Erro médio | 56 | 0,039 | 1,83 |
| C.V(%) | | 10,23 | 6,10 |
| Média | | 1,93 | 22,19 |

** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Através dos dados observados (Tabela 11), verifica-se que no 3^o terceiro corte não houve diferença significativa no comprimento de colmo, entre os ambientes irrigado e não irrigado. No entanto tais resultados foram superiores aos apresentados no 4^o corte, sendo que mais uma vez a cana não irrigada - 4^o corte apresentou o pior resultado

Para a característica diâmetro de colmo houve diferença no 3^o terceiro corte, com a cana não irrigada apresentando um diâmetro maior que a irrigada; no 4^o corte não houve diferença entre cana irrigada ou não. Em cana soca irrigada Pedrosa et al. (2005), encontraram diâmetro de colmo variando de 19,0 mm a 25,3 mm.

Tais resultados são esperados, pois à medida que aumenta o número de colmos por metro, o diâmetro torna-se mais delgado. Mas, verifica-se que a cana no 4^o corte, irrigada ou não apresentou menos diâmetro de colmos, mesmo apresentando menor número de colmos por metro.

TABELA 11 Valores médios para comprimento (m) e diâmetro de colmo (mm) em função dos ambientes irrigado e não irrigado nos 3^o e 4^o cortes, quanto a aplicação de vinhaça com e sem complementação nitrogenada.

| Ambiente | Comprimento de colmo (m) | Diâmetro de colmo (mm) |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Irigado – 3 ^o corte | 2,19a | 22,54b |
| Não irrigado – 3 ^o corte | 2,07a | 23,78a |
| Irigado – 4 ^o corte | 1,90b | 21,23c |
| Não irrigado – 4 ^o corte | 1,57c | 21,21c |

Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

O efeito da dose de vinhaça sobre a característica comprimento de colmo pode ser observado na Figura 5. Nota-se que houve um efeito linear das doses de vinhaça utilizadas no comprimento de colmo, ou seja, aumentando-se dose de vinhaça aumentou-se o comprimento dos colmos. Pedrosa et al. (2005), estudando o comportamento da cana de açúcar irrigada, observaram comprimento de colmo variando de 1,71 m a 2,66 m.

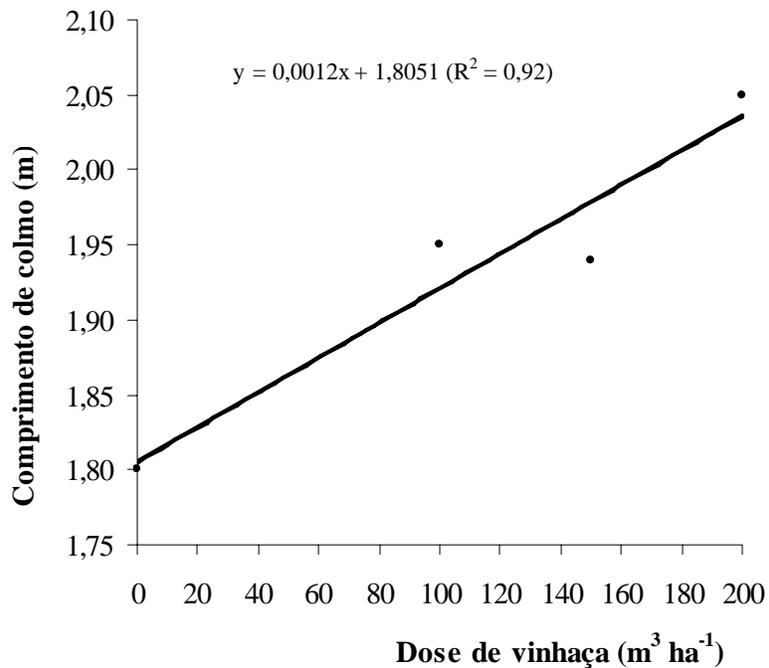


FIGURA 5 Equação de regressão para comprimento de colmo, em função das doses de vinhaça.

Para a característica diâmetro de colmo, a complementação ou não de nitrogenaio da vinhaça de alambique teve influência no diâmetro de colmo da cana soca; verifica-se para esta característica (Figura 6) que na aplicação de vinhaça sem complementação nitrogenada (N0), a equação de regressão mesmo sendo significativa, apresentou um coeficiente de determinação muito baixo ($R^2 = 0,39$). Segundo Crespo (1993), isto significa que a relação entre os dados estimados e os observados é fraca, portanto a equação de regressão utilizada não é um bom modelo para representar o diâmetro de colmo.

Para a equação (y_{60}) pode-se inferir que o maior valor estimado para diâmetro de colmo foi 23,01 mm quando da aplicação de $117,65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

complementada com 60 kg ha⁻¹ de N. A partir daí o aumento na dose de vinhaça diminui o diâmetro de colmo.

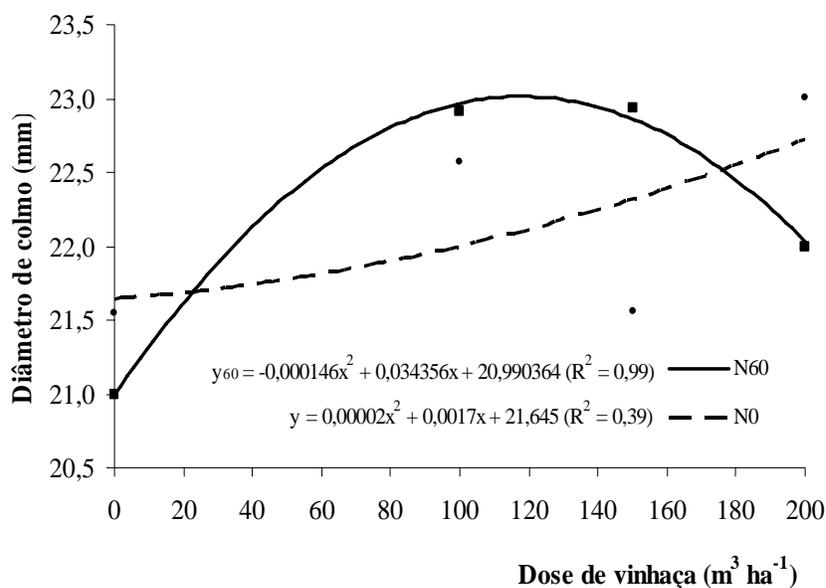


FIGURA 6 Equação de regressão para diâmetro de Colmo, em função das doses de vinhaça na ausência (N0) e na presença de nitrogênio (N60).

4.1.3 Rendimento de colmos

O resumo da análise conjunta de variância realizada para rendimento de colmos, em função das diferentes doses de vinhaça e nitrogênio aplicadas, nos diferentes ambientes, está apresentado na Tabela 12. Os resultados obtidos evidenciaram efeitos significativos para os ambientes e doses de vinhaça, assim como para as interações doses de vinhaça x nitrogênio (V x N) e ambiente x doses de vinhaça (A x V).

TABELA 12 Resumo da análise conjunta de variância para rendimento de colmos (TCH) nos 3^o e 4^o cortes, quanto à aplicação de vinhaça com e sem complementação nitrogenada.

| Fonte de Variação | G.L | Quadrado Médio |
|-------------------|-----|----------------|
| Ambiente (A) | 3 | 3485,01 ** |
| Bloco/Ambiente | 8 | 62,64 |
| Vinhaça (V) | 3 | 2240,57 ** |
| Nitrogênio (N) | 1 | 293,96 |
| V x N | 3 | 514,31 ** |
| A x V | 9 | 194,53 * |
| A x N | 3 | 172,04 |
| A x V x N | 9 | 93,24 |
| Erro médio | 56 | 88,69 |
| C.V(%) | | 13,28 |
| Média | | 70,90 |

Em que:

* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Para a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 7) constatou-se efeito quadrático do rendimento de colmos em relação às doses de vinhaça, sendo que a dose 166,6 m³ ha⁻¹ de vinhaça é que proporcionou maior rendimento de colmos, ou seja, 79,2 TCH.

Analisando-se a aplicação da vinhaça sem complementação nitrogenada (Figura 7), verificou-se que houve um efeito linear significativo, de modo que o aumento da dose de vinhaça proporcionou aumento constante no rendimento de colmos, sendo que para cada 1 m³ ha⁻¹ de vinhaça aplicada, espera-se um incremento médio de 77,8 kg ha⁻¹.

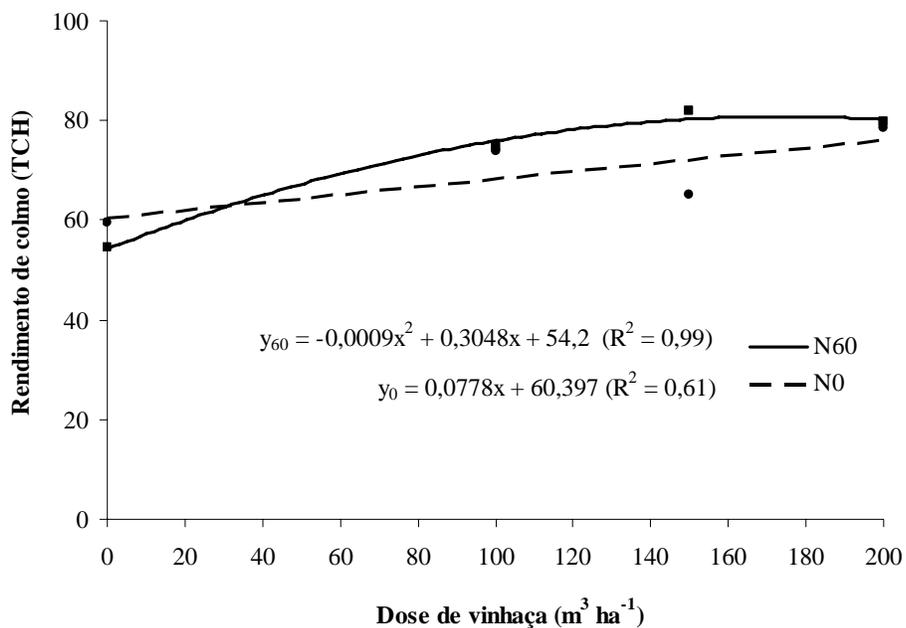


FIGURA 7 Equação de regressão, do rendimento de colmo, em cana-soca, complementada com (N60) e sem (N0) nitrogênio.

Os resultados obtidos neste trabalho, com relação à complementação da vinhaça com nitrogênio, são contrários aos verificados por Trivelin et al. (1995). Estes autores não encontraram diferença significativa no rendimento da cana-de-açúcar adubada com vinhaça complementada com nitrogênio. Entretanto, Rodrigues et al. (1984) e Glória et al. (1984), afirmam que há respostas na produtividade de colmos com o uso da complementação da vinhaça com nitrogênio.

Quanto à interação ambiente x vinhaça (Figura 9) verifica-se efeito quadrático para os ambientes Irrigado e não irrigado no 3^o corte. Nota-se que o máximo rendimento estimado, 93,29 TCH, foi obtido com a dose de 141,66 m³ ha⁻¹ de vinhaça no ambiente Irrigado. No entanto, no 3^o corte não irrigado o maior valor para rendimento de colmo foi de 77,43 TCH com a dose de 174 m³

ha⁻¹ de vinhaça. Já na cana irrigada e não irrigada a regressão foi linear, indicando que para cada 1 m³ de vinhaça aplicado, há um aumento médio de 87,9 kg ha⁻¹ para o ambiente não irrigado e de 177,9 kg ha⁻¹ para o ambiente irrigado.

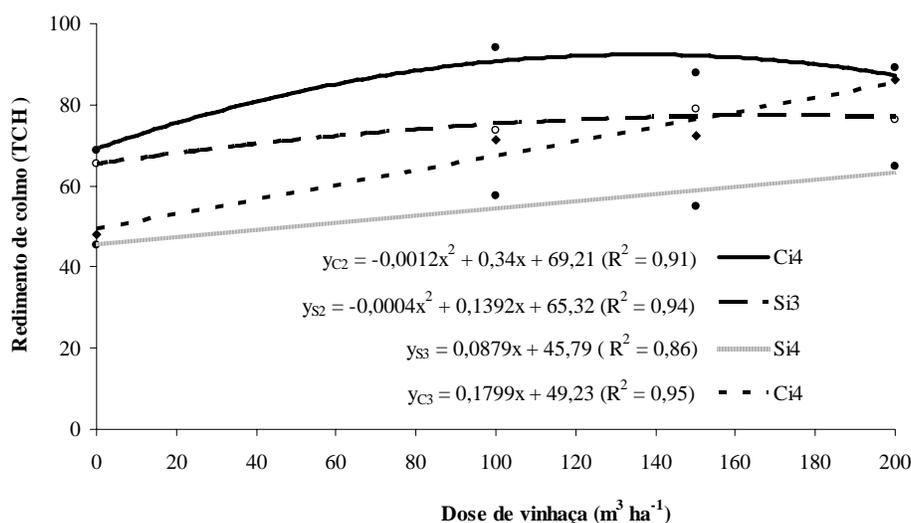


FIGURA 9 Equação de regressão para estimativa do rendimento de colmo na cana-soca submetida a diferentes doses de vinhaça de alambique, em ambiente com irrigação – 3^o e 4^o cortes (Ci3 e Ci4) e ambiente sem irrigação 3^o e 4^o corte (Si3 e Si4).

Analisando-se os efeitos da irrigação sobre o rendimento de colmos (Tabela 13) observa-se, que no ambiente irrigado - 2^a soca, o rendimento médio de colmos foi de 84,78 TCH, correspondente a um acréscimo de 15,16% em relação à cana não irrigada (73,62). Já na cana de 3^a soca, o rendimento médio de colmos foi de 68,84 TCH, correspondente a um acréscimo de 23,65% em relação à cana não irrigada (55,68). Resultados semelhantes foram encontrados por Farias (2008) e Santos (2006), que trabalhando em ambiente irrigado e não

irrigado, constataram aumento no rendimento de colmos da ordem de 19,21% e 22,1%.

TABELA 13 Valores médios para rendimento de colmos (TCH) em função dos tratamentos aplicados para ambiente irrigado – 3^o e 4^o cortes (Ci3 e Ci4) e ambiente não irrigado – 3^o e 4^o cortes (Si3 e Si4).

| Tratamento | Ambiente | | | |
|----------------|----------|--------------------|---------|--------|
| | Ci3 | Si3 | Ci4 | Si4 |
| T ₁ | 72,52a | 68,41ab | 52,04bc | 44,59c |
| T ₂ | 94,49a | 72,59b | 76,76ab | 50,89c |
| T ₃ | 73,48a | 69,43 ^a | 71,77a | 45,68b |
| T ₄ | 86,35a | 81,03ab | 83,24ab | 63,15c |
| T ₅ | 64,79a | 62,66ab | 44,18ab | 45,93b |
| T ₆ | 93,62a | 75,08ab | 61,13b | 64,40b |
| T ₇ | 101,87a | 88,28ab | 72,71bc | 64,25c |
| T ₈ | 91,12a | 71,48ab | 88,89a | 66,53b |
| Média | 84,78A | 73,62B | 68,84B | 55,68C |

Médias seguidas por letras diferentes na horizontal, dentro de cada corte, diferem entre si pelo teste t a 5%..

Portanto, quando se utilizou a vinhaça de alambique complementada ou não com nitrogênio verificou-se, na área irrigada que recebeu 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça + 60 kg ha⁻¹ de N (tratamento 7) o máximo rendimento de colmos (101,87 TCH), correspondente a um acréscimo de 15,39% (13,59 TCH) em relação à cana não irrigada (88,28 TCH). Na cana de 4^o corte, verificou-se um aumento da cana irrigada de 33,61% em relação à cana não irrigada, no tratamento 8 (200 m³ ha⁻¹ de vinhaça + 60 kg ha⁻¹ de N), correspondente a um aumento no rendimento de colmos de 22,36 TCH. O maior rendimento de colmos ocorrido nos ambientes irrigados pode ter sido consequência do efeito significativo da irrigação, que proporcionou maior número de colmos por metro no ambiente irrigado 3^o corte; bem como da vinhaça de alambique associada a

dose de 60 kg de N ha⁻¹ que até a dose de 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça, favoreceu o aumento no diâmetro de colmo.

O aumento no rendimento de colmo foi maior na cana de 4^o corte. Isto provavelmente ocorreu pelo fato de que na cana de 3^o corte, nos primeiros 60 dias após aplicação dos tratamentos a precipitação, ocorrida no período, pode ter sido suficiente para evitar prejuízos à brotação inicial.

O maior valor encontrado, 101,87 TCH (Tabela 13), no ambiente irrigado, está coerente com Doorenbos & Kassan (1979), que consideram como bons, em áreas irrigadas, rendimentos acima de 100 TCH. Mattioli et al. (1998) verificaram que a irrigação complementar proporcionou aumento de produtividade em até 30,4 TCH para cana-soca e Farias (2001), encontrou diferença significativa de 28,26 TCH entre a cana irrigada e a cana de sequeiro.

4.1.4 Características tecnológicas

O resumo da análise conjunta de variância realizada para as características tecnológicas da cana-de-açúcar (Brix, Pureza, Pol, Fibra, AR e ATR), em função das diferentes doses de vinhaça e nitrogênio aplicadas, nos diferentes ambientes, está apresentado na Tabela 14. Em relação as características tecnológicas avaliadas, verificou-se efeito significativo do ambiente para todas elas. Entretanto, apenas para a característica fibra, o efeito foi significativo quanto da aplicação de vinhaça (Tabela 14).

Os valores médios obtidos para as características tecnológicas, em cada ambiente, podem ser visualizados na Tabela 15. De modo geral, no ambiente Irrigado – 3^o corte, foi onde se observou a menor qualidade tecnológica da cana, com baixos teores de brix, pureza, pol e alto teor de fibra e AR (%) cana quando comparada às demais. Além disso, a cana irrigada ou não – 3^o corte apresentou menores valores de ATR (kg de açúcar por tonelada de colmos), que a cana de segunda soca.

TABELA 14 Resumo da análise conjunta de variância para as características tecnológicas da cana-de-açúcar, variedade SP80-1816, obtida no ensaio com aplicação de vinhaça e complementação nitrogenada, em ambiente com irrigação e sem irrigação, 3^o e 4^o cortes.

| Fonte de variação | G.L | Características tecnológicas | | | | | |
|-------------------|-----|------------------------------|---------|--------|--------|--------|----------|
| | | Brix | Pureza | Pol | Fibra | AR | ATR |
| Ambiente (A) | 3 | 3,95** | 28,30** | 6,91** | 6,10** | 0,03** | 583,44** |
| Bloco/ambiente | 8 | 0,18 | 1,63 | 0,01 | 0,09 | 0,001 | 0,72 |
| Vinhaça (V) | 3 | 0,47 | 0,36 | 0,49 | 1,17** | 0,006 | 41,80 |
| Nitrogênio (N) | 1 | 1,19 | 10,80 | 1,97 | 0,47 | 0,03 | 166,50 |
| V x N | 3 | 0,06 | 1,08 | 0,11 | 0,16 | 0,008 | 7,08 |
| A x V | 9 | 0,46 | 2,09 | 0,44 | 0,22 | 0,003 | 41,29 |
| A x N | 3 | 0,34 | 1,68 | 0,41 | 0,26 | 0,006 | 40,15 |
| A x V x N | 9 | 0,67 | 1,38 | 0,86 | 0,27 | 0,002 | 72,50 |
| Erro médio | 56 | 0,44 | 2,84 | 0,60 | 0,30 | 0,005 | 51,53 |
| C.V(%) | | 3,69 | 1,84 | 4,76 | 4,91 | 18,34 | 4,48 |
| Média | | 18,8 | 91,76 | 16,38 | 11,28 | 0,41 | 160,29 |

** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 15 Valores médios para as características tecnológicas de cana-de-açúcar, com aplicação de vinhaça e complementação nitrogenada, em ambiente com irrigação e sem irrigação, 3^o e 4^o cortes.

| Ambiente | Características tecnológicas | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | Brix | Pureza | Pol | Fibra | AR | ATR |
| Irigado – 3 ^o corte | 17,96c | 91,26bc | 16,11bc | 11,99a | 0,43ab | 157,41b |
| Não irrigado – 3 ^o corte | 17,75c | 90,55c | 15,78c | 11,31b | 0,45a | 154,93b |
| Irigado – 4 ^o corte | 18,67a | 92,20ab | 16,97a | 10,88c | 0,39b | 165,43a |
| Não irrigado – 4 ^o corte | 18,33ab | 93,04a | 16,66ab | 10,95bc | 0,37b | 163,37a |

Médias seguidas por letras diferentes na horizontal, diferem entre si pelo teste t a 5%.

Quanto ao teor de fibra (%) cana, verifica-se, que à medida que houve aumento da dose de vinhaça aplicada ocorreu a diminuição no teor de fibra da

cana-de-açúcar linearmente (Figura 10), indicando que para cada 1m³ de vinhaça que se adiciona espera-se uma retração média de 0,0025% no teor de fibra.

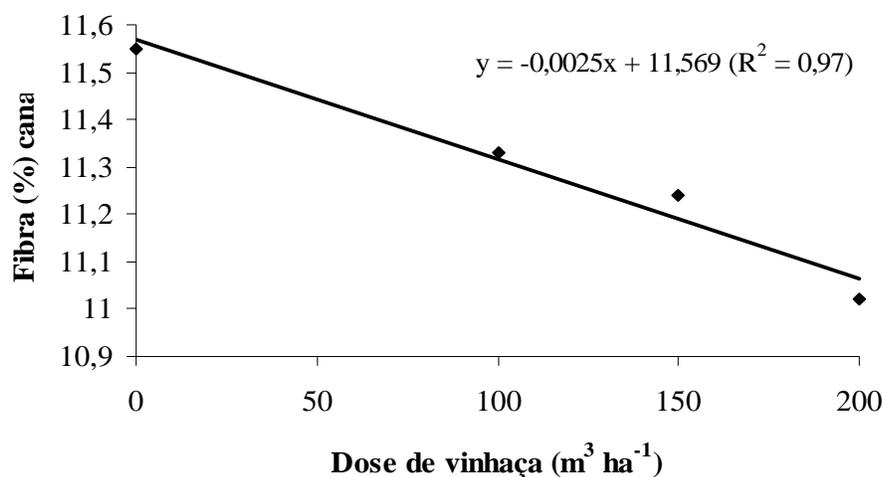


FIGURA 10 Equação de regressão para característica tecnológica fibra (% cana) em função da dose de vinhaça aplicada ao solo.

Ressalta-se que menores teores de fibras resultam numa cana com menor dureza, o que é interessante para os produtores de cachaça de alambique, pela obtenção de maior volume de caldo extraído e por consequência aumento do rendimento final de cachaça. Segundo Horii (2004), teores de fibra na cana inferiores a 10,5% é uma característica indesejável por causa do balanço energético, já que se faz necessário queimar maior quantidade de bagaço, para se manter o poder calorífico nas caldeiras. Entretanto, no presente trabalho, a aplicação da maior dose de vinhaça (200 m³ ha⁻¹) propiciou um teor de fibra (11,02), superior ao mínimo apresentado por este autor

Esses resultados estão de acordo com Andrade (2007), quando afirma que o teor de fibra é muito importante para a manutenção energética das

indústrias que processam a cana de açúcar, sendo que o teor de fibra médio ideal para cana é de 10,5 a 12,5%. No Estado de São Paulo, segundo Fernandes (2000), essa variável deve ser de 10 a 11% para que seja recomendada a industrialização da cana.

De modo geral, excetuando-se fibra (%) cana, a aplicação de doses crescentes de vinhaça complementada ou não com nitrogênio, não afetou as características tecnológicas e o ATR da matéria prima industrial, no entanto, os valores médios obtidos estão próximos aos valores médios encontrados por Bernardes & Câmara, (2001); Farias, (2008); Quintela, (2002); Tasso et al. (2007) e Leite et al. (2008).

5 CONCLUSÕES

- a) A dose estimada de 141,66 e 174 m³ ha⁻¹ de vinhaça proporcionaram as maiores médias de rendimento de colmo para a cana de terceiro corte, no ambiente irrigado e não irrigado, respectivamente;
- b) Na cana de quarto corte, tanto no ambiente irrigado como no não irrigado, à medida que aumentou a dose de vinhaça ocorreu aumento no rendimento de colmo;
- c) Doses crescentes de vinhaça proporcionaram redução no teor de fibra (% cana) e aumento no comprimento do colmo;
- d) No sistema de cana-soca colhida sem prévia despalha a fogo, há necessidade da aplicação de nitrogênio em áreas de aplicação de vinhaça, tanto no ambiente irrigado como no não irrigado;
- e) O aumento no rendimento final de colmo obtido mediante o uso da irrigação suplementar foi de 15,16% no terceiro corte e de 23,65% no quarto corte, sendo tecnicamente viável o uso da irrigação em cana-soca.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; BRUNNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coura.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Caril, 1987. v. 1, p. 42-55.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. p. 25-32.

ANDRADE, C. de L. T. de; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; COUTO, L. Características físico-hídricas e dinâmica de água no solo. In: ALBUQUERQUES, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 72-149.

ANDRADE, L. A. de 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.

ANDRADE, L. A. de B.; ANDRADE, P. P. Implantação e condução de canaviais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n.217, p. 44-54, set./out. 2007.

ANDRADE, L. A. de B.; BOCARDO, M. R.; CORREA, J. B. D.; CARVALHO, G. J. de. Efeitos do nitrogênio, aplicado nas formas fluída ou sólida, em soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 516-520, abr./jun. 2000.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do cerrado em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, n. 61, p. 52-63, jan. 1980.

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. AGRIANUAL . **Cana**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2009. p. 240-242.

AZANIA, A. A. P. M.; MARQUES, M. O.; PAVANI, M. C. M. D.; AZANIA, C. A. M. Germinação de sementes de *Sida rhombifolia* e *Brachiaria decumbens* influenciada por vinhaça, flegmaça e óleo de fúsel. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. 3, p. 443-449, 2003.

BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; BERTON, R. S. Emprego da vinhaça na cultura de citros. **Laranja**, Cordeiropolis, v. 7, n. 7, p. 277-289, 1986.

BERNARDES, M. S.; CÂMARA, G. M. S. **Cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 2001. 20 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. atual. amp. Viçosa, MG: UFV, 2005. 611 p.

BOLSANELLO, J.; VIEIRA, J. R. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça da região de Campos, RJ. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, n. 96, v. 5, p. 45-59, nov. 1980.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. 84 p.

CAMPELO, E. A. P. Agronegócio da cachaça de alambique de Minas Gerais: panorama econômico e social. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 217, p. 7-18, set./out. 2002.

CARRETERO, M. V. **Utilização do tanque de evaporação classe “A” para o controle da irrigação por gotejamento em soqueiras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1982. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **CETESB P4.231: vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. São Paulo, 2006. 12p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação do uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-ÇUCAR, AÇUCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 112 p.

COOPERATIVA DE PRODUTORES DE CANA-DE-AÇUCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Amostragem e análise de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar divisão Agronômica, 1980. 37 p. (Boletim Técnico, 6).

COOPERATIVA DE PRODUTORES DE CANA-DE-AÇUCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico-econômica. **Boletim Técnico Copersucar**, p. 1-66, 1978.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPPI, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 111-146, 1992.

COSTA, E.L. da.; MACÊDO, G. A. R.; SIMÃO, F. R. DENIZ, R.S. Irrigação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 56-63, jul/ago. 2007.

CRESPO, A. A. **Estatística**. 9. ed. São Paulo: Saraiva, 1993. 224 p.

DALRI, A. B. Irrigação em cana de açúcar. In: SEGATO, S. V.; SENE PINTO, A. de.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de (Org.). **Atualização em produção de cana de açúcar**. Piracicaba: CP2, 2006. p. 157-170.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana de açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.516-524, jul./set. 2008.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. DA C.; FARIAS, C. H. de A.; AZEVEDO, H. M. de.; AZEVEDO, C. A. V. de. Resposta da cana de açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.10, n.2, p.283-288, abr./jun. 2006.

DEMATTE, J. L. I. O uso agrônomo de resíduos x fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar. In: DECHEN, A. R.; BOARETTO, A. E.; VERDADE, F. C. (Coord.). REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 213-251.

DEUBER, R. Maturação da cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA DA COPERSUCAR, 4., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1988. p. 33-40.

DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; Nóbrega, J.C.M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Prol, 2006. v. 1, p. 107-119.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efectos Del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (FAO. Ri ego y Drenaje, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidade hídrica das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

ELIA NETO, A.; NAKAHODO, T. Caracterização físico-química da vinhaça. **Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia Copersucar**, Piracicaba, 1995. 26p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FARIAS, C. H. A. **Desenvolvimento morfofisiológico da cana de açúcar em regime irrigado e sequeiro na zona da mata paraibana**. 2001. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana de açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FERNANDES, A. C. **Terceira geração de variedades de cana-de-açúcar**. São Paulo: Copersucar, 1991. 27 p. (Copersucar. Boletim Técnico. Especial).

FERNANDES, A. C. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. **Stab: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 1, p. 55-65, 2000.

FERNANDES, E. J. Comparação entre três métodos para estimar lâminas de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 13, p. 36-46, jan./mar. 2008.

FERNANDES, O. W. B. **Avaliação de variedades de cana-de-açúcar para a produção de cachaça artesanal e a interferência dos resultados no comportamento do produtor na região de Salinas-MG: uma contribuição extencionista.** 2005. 66 p. Dissertação (Mestrado em Educação Profissional Agrícola). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

FIGUEIREDO FILHO, C. P.; MARINHO, M. L.; BARBOSA, G. V. S. Efeito de doses de nitrogênio sobre a produção da cana-planta em solos da Mata Norte de Pernambuco e Litoral Sul da Paraíba. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996, Maceió. **Anais...**Maceió: STAB, 1996. P.441-448.

FIGUEIREDO, P. A. M. de. **Efeitos da vinha e de sua complementação nitrogenada e biológica no palhiço, no solo e na cana de açúcar.** 2000. 77 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FIGUEIREDO, P. A. M. Particularidades a respeito do Potássio. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 6, p.25, 2006.

FIGUEIREDO, P. A. M. ; ANDRADE, L. A. B. ; BARBOSA, M. H. P. ; QUINTELA, A. C. R. ; HEINRICHS, R. ; CORREA, João Batista Donizeti . Consequências do palhiço, vinhaça e herbicidas no matocontrole em área de cana crua, variedade SP80-1842. **STAB - Açúcar Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 22, n. 4, p. 34-37, mar. 2004.

FRANCO, A. **Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto e vinhaça:** nitrogênio no sistema solo-planta, produtividade e características tecnológicas. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

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

GAVA, J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. M.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, nov. 2001b.

GAVA, J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; PENATTI, C. P. Perdas de amônia proveniente da mistura de vinhaça e uréia aplicada ao solo com e sem cobertura de palha de cana-de-açúcar. **Stab - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 19, n. 3, p. 40-42, jan./fev. 2001a.

GENUCHTEN, M. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science of Society American Journal**, Madison, v. 41, p. 892-898, 1980.

GLÓRIA, N. N. **Emprego de vinhaça para fertilização**. Piracicaba: CDISTIL. 1976. 32 p.

GLÓRIA, N. A.; ALBUQUERQUE, F. C. ALONSO, O.; FONTANARI, N.; HENRIQUE, J. L. P.; GERALDO FILHO, L.; Complementação nitrogenada de soqueiras de cana-de-açúcar fertilizada com vinhaça. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Stab, 1984. p. 74-77.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação da vinhaça como fertilizante. **Boletim Técnico PLANALSUCAR**, Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 5-38, jan. 1983.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. 477 p.

GONÇALVES, D. B. Os impactos no meio ambiente. In: WHORKSHOP SOBRE IMPACTOS DA EVOLUÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO NO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008, Campinas. **Relatório final...** Campinas: UNESP, 2008. 11 p.

GUAZZELLI, M. N. A.; PAES, L. D. A. Irrigação de cana-de-açúcar comercial. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1997. 11 p.

GUEDES, C. A. B.; SILVA, L. A.; RIBEIRO, G. A. A.; CEDDIA, M. B.; LIMA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar em área com vinhaça complementada com N e colheita sem queima. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., 2002, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: SBCS, 2002. 1 CD ROM.

HORII, J. A qualidade da matéria-prima, na visão agrícola. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 1, 2004, p. 91-93.

KONKEL, S. **Efeito do vinhoto e do cloreto de potássio sobre algumas características morfológicas, fisiológicas e rendimento do alho.** 1991. 63p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

KORNDORFER, G. H. O potássio e a qualidade da cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 49, p. 1-3, mar. 1990.

KORNDORFER, G. H. RIBEIRO, A. C.; ANDRADE, L. A. de B. Cana-de-açúcar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5^a aproximação.** Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 285-288.

KORNDORFER, G. H.; VALLE, M. R.; MARTIN, M.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana-planta. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996. Maceió. **Anais...Maceió: STAB.** 1996. p. 449-454.

LEITE, G. M. V.; ANDRADE, L. A. B de.; GARCIA, J. C.; ANJOS, I. A. dos. Efeitos de fontes e doses de silicato de cálcio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar sp80-1816. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1120-1125, jul./ago., 2008.

LUZ, P. H. C. Novas tecnologias no uso da vinhaça e alguns aspectos legais. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2005.

MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O. J. O potássio e a planta. In: POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 1982, Londrina. **Anais...** Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 1982. p. 95-162.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1989. 201 p.

MARINHO, M. L.; ALBURQUERQUE, G. A. C. Calagem. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. cap. 8, p. 181-208. (Coleção Planalsucar, 2).

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JUNIOR, L. C **Tecnologia do açúcar**: produção e industrialização da cana de açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.

MATIOLI, C. S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 22 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

MEDEIROS, A. P. Composição química dos diferentes tipos de vinhaça nos diferentes tipos de vinhaça nos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Saccharum Stab**, São Paulo, v. 4, n. 12, p., 36-40, dez. 1981.

MELLO, A. S. S. A. Utilização agrícola da vinhaça: o valor de uma esternalidade positiva. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA UFRPE, 2., 1999, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 1999.

MENGEL K. Fatores e processos que afetam as necessidades de potássio das plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 1982, Londrina. **Anais...**Londrina: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1982 p. 195-226.

MINAS GERAIS. Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação normativa n. 12, 16 de dezembro de 1986. Estabelece normas e padrões para emissões de poluentes na atmosfera dá outras providências. **Diário Executivo Minas Gerais**, Belo Horizonte, 10 jan. 1987.

NOGUEIRA, T.A.R.; FONSECA, I.M.; MARQUES, M.O.; MENDONÇA, L.Q.H. de. Nutrientes em cana-de-açúcar de 5º corte cultivada em solo tratado com lodo de esgoto e vinhaça por quatro anos consecutivos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 36-46 2007.

NOGUEIRA, A. M. P.; VENTURINI FILHO, W. G. **Aguardente de cana**. Botucatu: UNESP, 2005. 71 p.

OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P.; MENDES, L. C.; DAMASCENO, C. M. Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **Stab - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 3, p. 30-31, jan. 2003.

OLIVEIRA, R. A. de.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; TERUYO IDO, O.; BESPALHOK FILHO, J. C.; ZUFFELLATO-RIBASA, K. C.; SILVA, D. K. T. da. Área foliar em três cultivares de cana de açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropicais**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, jul./dez. 2007.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana de açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Ed.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993. p. 133-146.

ORLANDO FILHO, J. Doses, fontes e formas de aplicação nitrogenada em cana de açúcar. **Stab - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 39-41, maio/jun. 1999.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo Areia Quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **Stab - Açúcar Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, maio 1996.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. de C.; ROBAINA, C. R. P.; LAURANI, R. A. Produções agrícola e industrial de cana-de-açúcar submetida a doses de vinhaça. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 145-150, jul./dez. 2002.

PEDROSA, R. M. B.; SANTOS, J. S.; ALBUQUERQUE, W. G.; FARIAS, C.AH. A.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Avaliação dos parâmetros dos colmos da cana de açúcar, segunda folha, submetida a níveis de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 25-30, 2005.

PENATTI, C. P.; FORTI, J. A. Adubação nitrogenada em soqueira de cana de açúcar – resultados preliminares. In SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1994. p. 99-104.

PENNATTI, C. P.; CAMBRIA, S.; BONI, P. S.; ARRUDA, F. C. O.; MANOEL, L. A. Efeito da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, v. 44, p. 32-38, 1988.

PERES, J. C. **Determinação dos coeficientes de cultura (Kc) da cana-de-açúcar: ciclo de cana-soca**. 1988. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

PEREIRA, V.; GLÓRIA, N. A. da.; MAGALHÃES, J. M. A adubação nitrogenada das soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça. **Stab - Açúcar Álcool e Subprodutos**, São Paulo, v. 4. n. 20, p. 28-30, jan./fev. 1997.

PINTO, C. P. **Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. Dissertação (Mestrado Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

PRADO, R de M.; PANCELLI, M. A. Resposta de soqueiras de cana de açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 951-959, out./dez. 2008.

QUINTELA, A. C. R. ; ANDRADE, L. A. de B.; CORRÊA, J. B. D.; REZENDE, P. M. Controle de plantas daninhas em cana crua (cultivar RB83-5089) no sistema integrado palhicho, herbicida e vinhaça. **Stab - Açúcar Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 20, n. 04, p. 38-42, mar. 2002.

ROBAINA, A. A.; VIEIRA, J. R.; AZEREDO, D. F.; BOLSANELLO, J.; MANHÃES, M. S. dos. Doses e complementação mineral da vinhaça em socas de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 102, n. 1, p. 26-33, jan./fev. 1984.

RODELLA, A. A.; FERRARI, S. R. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 1, p. 380-387, jan./fev. 1977.

RODELLA, A. A.; PARAZZI, C.; CARDOSO, A. C. Composição de vinhaça. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL, 3., 1980, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: Copersucar, 1980. 14 p.

ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1989. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ROSSETO, A. J. Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. . In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 435-504.

ROSSETTO, R.; KORNDORFER, G. H. ; DIAS, FÁBIO, L. F. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; NOGUEIRA, T. A. R.; TASSO JÚNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A.; BERNARDI, J. H. (Org.). **Tecnologias na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008. v. 1, p. 125-139.

SANTANA, S. S. Economicidade da aplicação de vinhaça em comparação à adubação mineral. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v. 5, n. 23, p. 26-38, 1985.

SANTOS, M. A. C. dos; SOBRAL, A. F. de; CORDEIRO, D. A.; ARAÚJO, J. D. L. de. **Adubação da cana-de-açúcar: resumo informativo**. Carpina: IAA/PLANALSUCAR, 1979. 3 p.

SANTOS, M. A. L. dos.; FRIZZONE, J. A. Irrigação suplementar da cana de açúcar (*Saccharum spp*): um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 339-355, jul./set. 2006.

SCARDUA, R. **O clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana-de-açúcar (*saccharum spp*)**. 1985. 122 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

SCARDUA, T.; SOUZA, J. A. G. C. Comportamento da cultura de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, 1975. **Anais...** Fortaleza: ABID, 1975. 27 p.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; SENE PINTO, A. de.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicab: ESALQ/USP, 2006. p. 19-36.

SILVA, E. L. da,; PEREIRA, G. M.; CARVALHO, J. de A. VILELA, L. A. A.; FARIA, M. A. de. **Manejo de irrigação das principais culturas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 85 p.

SILVA, G.M. de A.; CASTRO, L. J. P. de.; MAGRO, J. A. Comportamento agroindustrial da cana de açúcar em solo irrigado e não irrigado com vinhaça. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DA INDÚSTRIA AÇUCAREIRA, 4., Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: p.107-122. São Paulo: Copersucar, 1976.

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

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n.1, p. 108–114, jan./mar. 2007.

SILVEIRA, L. C. I. da; BARBOSA, M. H. P.; OLIVEIRA, M. W. de. Manejo de variedades de cana-de-açúcar predominantes nas principais regiões produtoras de cachaça de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 217, p. 25-32, set./out. 2002.

SIQUEIRA, M. L. **Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbia da vinhaça em reator de leito fluidizado**. 2008. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

STUPIELLO, J. P. A Filha da matéria prima, **Stab - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 2 p. 12, 2002.

SZMRECSÁNYI, T. Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canavieira no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, Piracicaba, v. 24, n. 10, p. 73-81, out. 1994.

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. V. O. de A.; NOBILE, F. O. de.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. N. da. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 276-283, jan./abr. 2007.

TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A.; MURAOKA., T. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais sem despalha a fogo. **Stab - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 3, p. 36-38, jan/fev. 1998.

ZILLO, F. J. **Modo de aplicação e doses de nitrogênio e potássio na produção de cana-de-açúcar**. 1993. 88 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

YANG, S. J. The role of soil moisture on the growth and yield of sugarcane under sub-tropical climate. **Taiwan Sugar**, Taiwan, v. 26, n. 3, Pp. 84 – 93, May/June, 1979.