

**Avaliação da produtividade agrícola da cana-planta e cana-soca sob diferentes espaçamentos entre plantas para produção de açúcar e etanol**





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Informática Agropecuária  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 40**

## **Avaliação da produtividade agrícola da cana-planta e cana-soca sob diferentes espaçamentos entre plantas para produção de açúcar e etanol**

*Fábio Cesar da Silva  
Adriana Antonioli  
Pedro Luiz de Freitas  
Helder Basaglia Zotelli  
Guilherme Kangussu Donagemma  
Ricardo de Queiroz Mamede  
Rodrigo Fernandes Pires  
José Ruy Porto de Carvalho  
Samuel Rodrigo Schiavinato*

Embrapa Informática Agropecuária  
Campinas, SP  
2015

## **Embrapa Informática Agropecuária**

Av. André Tosello, 209 - Barão Geraldo  
Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Campinas, SP  
Fone: (19) 3211-5700  
www.embrapa.br/informatica-agropecuaria  
sac: www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

### **Comitê de Publicações**

Presidente: *Giampaolo Queiroz Pellegrino*

Secretária: *Carla Cristiane Osawa*

Membros: *Adhemar Zerlotini Neto, Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Thiago Teixeira Santos, Maria Goretti Gurgel Praxedes, Adriana Farah Gonzalez, Neide Makiko Furukawa, Carla Cristiane Osawa*

Membros suplentes: *Felipe Rodrigues da Silva, José Ruy Porto de Carvalho, Eduardo Delgado Assad, Fábio César da Silva*

Supervisor editorial: *Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Neide Makiko Furukawa*

Revisor de texto: *Adriana Farah Gonzalez*

Normalização bibliográfica: *Maria Goretti Gurgel Praxedes*

Editoração eletrônica/capa: *Neide Makiko Furukawa*

Imagem da capa: *Fábio Cesar da Silva*

### **1ª edição**

publicação digitalizada 2015

#### **Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Informática Agropecuária

---

Avaliação da produtividade agrícola da cana-planta e cana-soca sob diferentes espaçamentos entre plantas para produção de açúcar e etanol / Fábio Cesar da Silva ... [et al.]. - Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2015.

86 p. : il. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9266; 40).

1. Cana-de-açúcar. 2. Espaçamento. 3. Produtividade. I. Silva, Fábio Cesar da. II. Título. III. Embrapa Informática Agropecuária. IV. Série.

CDD (21. ed.) 633.61

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	8
<b>Introdução</b> .....	10
<b>Objetivos</b> .....	12
<b>Revisão bibliográfica</b> .....	13
Breve histórico da cana-de-açúcar.....	13
A chegada da cana-de-açúcar na América e no Brasil .....	14
Situação atual.....	16
Cana-de-açúcar e produção de etanol.....	19
Plantio de cana-de-açúcar .....	21
Espaçamentos de plantio de cana-de-açúcar .....	27
Colheita mecanizada.....	29
<b>Materiais e métodos</b> .....	33
Localização e caracterização da região onde se encontra o experimento.....	33
Área experimental.....	34
O Município.....	34
Clima e precipitação.....	34
Solo.....	38
Relevo .....	41
Vegetação.....	41
Hidrografia .....	44

Características gerais do experimento .....	45
Instalação, preparo e condução do experimento .....	45
Preparo da área experimental .....	45
Aplicação de herbicidas .....	46
Plantio .....	46
Tratos culturais .....	47
Colheita .....	48
Delineamento experimental.....	48
Características da cultivar de cana-de-açúcar .....	51
Avaliações .....	51
Morfologia da planta.....	52
Perfilhamento da cana-de-açúcar .....	52
Diâmetro e altura da planta .....	52
Produtividade .....	52
Análises tecnológicas.....	52
Dados obtidos no campo ao longo da safra.....	57
<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>57</b>
Análises estatísticas.....	63
<b>Conclusões .....</b>	<b>81</b>
<b>Agradecimentos.....</b>	<b>82</b>
<b>Referências .....</b>	<b>83</b>

# Avaliação da produtividade agrícola da cana-planta e cana-soca sob diferentes espaçamentos entre plantas para produção de açúcar e etanol

---

Fábio Cesar da Silva<sup>1</sup>  
Adriana Antonioli<sup>2</sup>  
Pedro Luiz de Freitas<sup>3</sup>  
Helder Basaglia Zotelli<sup>4</sup>  
Guilherme Kangussu Donagemma<sup>5</sup>  
Ricardo de Queiroz Mamede<sup>6</sup>  
Rodrigo Fernandes Pires<sup>7</sup>  
José Ruy Porto de Carvalho<sup>8</sup>  
Samuel Rodrigo Schiavinato<sup>9</sup>

---

<sup>1</sup> Engenheiro, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

<sup>2</sup> Engenheira Ambiental e Tecnóloga em Biocombustíveis, Coordenação Tutorial no Curso de Tecnologia e Gestão Ambiental da Universidade do Norte do Paraná no Polo Piracicaba, Piracicaba, SP

<sup>3</sup> Engenheiro agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

<sup>4</sup> Engenheiro agrônomo, gerente agrícola da Alcoeste Destilaria, Fernandópolis, SP

<sup>5</sup> Engenheiro agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

<sup>6</sup> Engenheiro agrônomo, mestre em Agronomia, gerente de Tratos Culturais na Usina Madhu, Renuka do Brasil, Promissão, SP

<sup>7</sup> Graduando em Engenharia Agrônômica, Setor Agrícola da Unidade Madhu, Renuka do Brasil, Promissão, SP

<sup>8</sup> Estatístico, Ph.D. em Estatística, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

<sup>9</sup> Engenheiro agrônomo, supervisor de Desenvolvimento da Usina Madhu, Renuka do Brasil, Promissão, SP

## Resumo

Para avaliar a influência da variação do espaçamento entre linhas na produtividade e na qualidade da cana-de-açúcar para produção de etanol e açúcar foi instalado um experimento em gleba sob reforma na área agrícola da Usina Renuka - Unidade Madhu. Tal unidade sucroalcooleira, localizada na Bacia do Médio Rio Tietê, com área agrícola no Município de Guaiçara, SP, é uma das cinco maiores do mundo, com capacidade de moagem de 6,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano. O experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso de parcelas com largura de oito sulcos e comprimento de 15 metros. Para minimizar o efeito bordadura foi considerada como área útil os quatro sulcos centrais com 10 m de comprimento. Seis repetições foram utilizadas em cada tratamento (T1, T2, T3 e T4) sendo: T1 - Convencional simples (1,5 m x 1,5 m); T2 - Base Larga (0,8 m x 1,8 m); T3 - Base Larga (0,8 m x 2,0 m); e, T4 - Duplo Alternado (0,9 m x 1,5 m). Foram avaliados os efeitos do espaçamento nas características agronômicas, na produtividade e na qualidade da matéria prima para fins de processamento.

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que, para a biometria, não houve efeito de tratamentos após o estabelecimento de cultura. Conclui-se que, se a maioria dos fatores biométricos, a exceção do perfilhamento, são iguais, o melhor tratamento foi T3. Foi observado um fechamento mais rápido no T4 (duplo alternado). No entanto, o déficit de água no solo provavelmente levou a uma competição excessiva dos perfilhos.

Na colheita da cana-soca, a maior produtividade foi observada em T4, seguido por T1. A experiência da unidade sucroalcooleira (Renuka) indica que o espaçamento duplo tem um melhor desempenho quando há disponibilidade de água no solo, minimizando a competição entre os perfilhos na formação do canavial.

Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos na produtividade na cana-planta. Entretanto, T1 e T2 apresentaram tendência a maiores produtividades. Essa tendência se inverteu na colheita da cana-soca quando, pela maior disponibilidade hídrica, T4 foi superior, seguido por T2.

A qualidade tecnológica (POL% C.E., Fibra, ATR e Brix% C.E.) da cana-de-açúcar foi influenciada pelos tratamentos na primeira avaliação (início de safra) nas duas colheitas (cana-planta e cana-soca), especialmente para T4 que superou os demais tratamentos devido a uma maior competição entre colmos, favorecendo assim a maturação.

A melhor extração de nutrientes e alocação na parte aérea da cana-planta ocorreu no Tratamento 3 (base larga de 0,8 m x 2,0 m) enquanto que nos colmos ocorreu no Tratamento 2 (base larga de 0,8 m x 1,8 m).

Palavras-chave: reforma de canavial, espaçamento de base larga, biometria, qualidade tecnológica

# **Evaluation of the productivity of the cane-plant and ratoon under different row spacings among plants for the production of sugar and ethanol**

---

## **Abstract**

*To evaluate the influence of the variation in spacing and in plant arrangement on sugar cane yield and quality for ethanol and sugar production, it was installed an experiment in the reform area of a sugar cane field of Renuka Plant - Madhu Unit. Located in the Municipality of Guaíçara, SP, in the medium Tietê River Basin, this unit is one of the five largest sugar and ethanol plants in the world, with an annual grinding capacity of 6.5 million tons of sugarcane. The experiment was installed in a randomized block design with eight grooves wide and 15 meters long plots. To minimize the border effect, it was considered as useful area the four central grooves 10m long. Six replicates were used for each treatment (T1, T2, T3 and T4), where T1 - Conventional Single (1.5 m x 1.5 m); T2 - Wide Base (0.8 m x 1.8 m); T3 - Wide Base (0.8 m x 2.0 m); and, 4 - Double Alternated (0.9 m x 1.5 m). The effects of different spacings on the agronomic characteristics, yield, and raw material quality for processing were evaluated. According to the results, it was concluded that, for biometrics, there was no treatment effect after the establishment of the culture. It is concluded that, if the majority of biometric factors, with the exception of tillering, are equal, T3 (wide base - 0,8 m x 2,0 m) was the best treatment. It was observed a quicker closing of soil cover in T4 (double spacing). However, soil water deficit has probably led to an excessive*

*tillering competition. In the ratoon cane harvesting, the highest productivity was observed in T4 followed by T1. The experience of production unit (Renuka Plant) indicates that the double alternated spacing (T4) has a better performance when soil water is available, minimizing tillering competition in crop formation. It was not observed statistical difference between treatments in stalk yield in plant cane. However, T1 and T2 showed a trend to higher yields. This trend was reversed in the ratoon cane harvesting when, due to the higher soil water availability, stalk yield in T4 was higher, followed by T1. Sugarcane technological quality (Apparent Sucrose - Pol % J.C.; Fiber % in Cane, Total Recoverable Sugars - TRS; and, Brix % J.C.) was influenced by the treatment in the first evaluation (early season) in plant cane and ratoon cane harvestings, especially for T4, which has overcome other treatments due to greater competition among stalks, favoring the maturation. The best nutrient uptake and allocation in the shoots occurred in T3, while in cane stalks in T2.*

*Index terms: sugar cane reform area, wide base spacing, sugar cane biometrics.*

## Introdução

Os Sistemas de produção geram biomassa que pode ser transformada em produtos energéticos de fácil utilização para substituir combustíveis fósseis. Nesse aspecto, a cultura de cana-de-açúcar é considerada atualmente uma das grandes alternativas no que diz respeito ao setor de biocombustíveis por seu grande potencial na produção de etanol e os respectivos subprodutos. Isso ocorre devido à busca por novas fontes alternativas de energia, menor preço do petróleo e energias limpas. O sucesso da adoção da cultura de cana-de-açúcar no desenvolvimento desta nova atividade agrícola depende principalmente:

- a) Da evolução dos preços, da garantia do abastecimento e lucro empresarial.
- b) Da produção de biomassa em áreas disponíveis a partir da identificação das espécies de plantas adequadas.
- c) Do desenvolvimento das tecnologias necessárias para tornar os biocombustíveis competitivos.
- d) Do interesse das empresas na conservação e proteção do ambiente.
- e) No estabelecimento de uma política adequada para incentivar os agricultores e os empresários a investirem.

Desta forma, grandes esforços e investimentos em tecnologia são desenvolvidos no melhoramento e aperfeiçoamento para obtenção de produtividade sustentável da cultura.

O Brasil é considerado o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo e a cultura possui grande importância para o agronegócio nacional. A área plantada no ano de 2012 foi de aproximadamente 8,4 milhões de hectares e a recente demanda por etanol tem contribuído por novas áreas de expansão, além da particularidade do canavial ser renovado periodicamente. Uma das primeiras operações no sistema de produção agrícola é o plantio, que afeta as operações subsequentes, como também a produtividade da

cultura. Apesar de o sistema de produção agrícola da cana-de-açúcar ser altamente mecanizado, a operação de plantio foi praticamente a última em ter a opção da mecanização total.

No Brasil, o plantio é predominantemente semimecanizado, mas recentemente muitas mudanças têm acontecido nesse setor em direção ao plantio mecanizado. Entretanto, a operação do plantio é influenciada por diversos fatores, tais como, as características técnicas e das máquinas utilizadas na operação, das distinções de cada propriedade agrícola como o tamanho, o espaçamento, a velocidade operacional, a distância do talhão de plantio, dentre outros, que afetam o desempenho técnico-econômico e o dimensionamento do número de conjuntos necessários na operação, tanto para o transporte de mudas quanto para o plantio (OLIVEIRA, 2012).

No sistema de plantio de cana-de-açúcar uma das variáveis mais pesquisadas é o espaçamento e o arranjo entre plantas. Essa variável tem forte relação com os sistemas mecanizados que estarão trafegando nos talhões durante todo o processo de produção de cana-de-açúcar. Os sistemas de plantio apresentam vários espaçamentos com bitolas entre linhas variáveis, além do espaçamento combinado, com linhas duplas distanciadas entre si e entre as duplas para favorecer a colheita mecanizada (OLIVEIRA, 2012).

Ao adotar a colheita mecanizada, a área passa a receber uma pressão dos pneus da colheitadeira e do caminhão transportador em todas as linhas, ou seja, o tráfego aumenta consideravelmente, comparado ao sistema de corte manual e carga mecânica. Visando reduzir os efeitos sobre o solo, algumas medidas devem ser introduzidas no novo agrossistema, entre as quais (SILVA et al., 2013; STOLF, 2010) destacam:

- 1) Adoção de transbordo, retirando o caminhão da área de cultivo.
- 2) Utilização de pneus de baixa pressão (alta flutuação) no transbordo (30 libras).
- 3) Seleção de colheitadeiras com canais de três eixos que oferecem maior estabilidade e menor pressão sobre o solo.

- 4) Adequação da distância entre as rodas do trator e do transbordo, havendo um duplo espaçamento entre a plantação.
- 5) Adequação do espaçamento de plantio: 1,40 m a 1,50 m ou 1,60 m, com estabelecimento de um espaçamento grande na base, de linhas duplas. Exemplos: 0,50 m x 1,30 m e 0,90 m x 1,40 m.
- 6) Integrar a palha nas rodadas, para absorver parte do impacto do tráfego.
- 7) Palha, para reduzir a variação da temperatura do solo, buscando diminuir a velocidade da decomposição das raízes, de modo que se mantenha uma maior quantidade de matéria orgânica no solo. Uma vez que a presença de raízes dificulta a compactação.

Nesse trabalho elegeu-se fazer a avaliação e a adequação do espaçamento dentre os outros fatores que afetam a produtividade do canavial, sendo que o objetivo principal da pesquisa foi quantificar a interferência de diferentes tipos de espaçamentos e de arranjos de plantio na produtividade agrícola da cultura de cana-de-açúcar em duas colheitas (cana-planta e cana-soca) e seus efeitos na qualidade tecnológica para produção de açúcar e etanol.

## **Objetivos**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a interferência de diferentes tipos de espaçamentos e de arranjos de plantio na produtividade agrícola de cana-planta e de cana-soca e na qualidade da matéria prima para produção de açúcar e etanol. Para análise desta avaliação experimental, e de seus respectivos feitos na produtividade e longevidade do canavial, foram realizadas:

- Análise de perfilhamento e de indicadores de crescimento da cultura em função dos diferentes espaçamentos.

- Análises tecnológicas das amostras de colmos no início, meio e final de safra.
- Colheitas da cana-planta, da soqueira com suas análises de qualidade agrotecnológica e de exportação de nutrientes.
- Análises estatísticas para contrastes de médias dos tratamentos nas diferentes épocas.

## Revisão bibliográfica

### Breve histórico da cana-de-açúcar

Há divergências entre diferentes autores sobre o surgimento da cultura da cana-de-açúcar, de acordo com Dinardo-Miranda et al. (2010), a cana-de-açúcar pertence a família Poaceae e ao gênero *Saccharum*, sendo uma planta perene e própria a climas tropicais e subtropicais, e tendo atualmente as espécies mais cultivadas de cana-de-açúcar são híbridas.

A origem exata dessa espécie tem sido muito discutida por diversos autores. As ilhas do Arquipélago da Polinésia, a Nova Guiné e a Índia estão entre as regiões mais citadas como possível local de surgimento desta planta.

Alguns estudiosos achavam que a cana cultivada tinham origens diferentes e que elas provinham das partes mais úmidas da Índia. A hipótese mais aceita sobre a expansão da cana-de-açúcar é que inicialmente tenha sido cultivada na região do Golfo de Bengala e que, conseqüentemente, outros povos como os persas, chineses e os árabes foram conhecendo e expandindo seu cultivo (DINARDO-MIRANDA et al., 2010).

Segundo Bastos (1987), a origem da cana-de-açúcar foi no norte da Índia, porém há referências ao açúcar datado do ano de 500 da nossa era. Nos séculos 9 e 10 no Egito, a produção do açúcar teve grande importância havendo até mesmo exportação. Os árabes levaram a cana para o norte

da África e para o sul da Europa, e os chineses para Java e Filipinas. Já nos séculos 11 e 12, as cruzadas transportaram o açúcar para a Europa havendo, conseqüentemente, sua propagação, comércio e uso.

No século 15, no auge das navegações portuguesas, a cultura da cana-de-açúcar foi difundida pelos espanhóis e portugueses, estabelecendo indústrias açucareiras e comercialização do produto para vários outros países. Já por volta de 1454, o açúcar obtido da cana-de-açúcar era considerado mercadoria de grande importância para ser vendido, porém a produção e a mão de obra não eram suficientes para a demanda de exportação do produto para outros países. Portanto, uma das alternativas para suprir a falta de mão de obra daquela época era a vinda de escravos africanos capturados e vendidos principalmente na Ilha Madeira (SILVA et al., 2003).

Mesmo com a evolução da cana-de-açúcar na Europa e na Ásia e aos grandes avanços tecnológicos empregados naquela época, foi na América que esta planta se mostrou favorável para a sua propagação, onde anos mais tarde as maiores plantações estariam concentradas neste continente (CHAVES JÚNIOR, 2011; SILVA et al., 2013).

## **A chegada da cana-de-açúcar na América e no Brasil**

Dinardo-Miranda et al. (2010) afirma que a introdução da cana no continente americano ocorreu em 1.493, na segunda viagem de Cristóvão Colombo, o qual levou os colmos de cana da Ilha da Madeira para a região onde hoje é conhecida como República Dominicana.

Cristóvão Colombo trouxe a cana-de-açúcar e deu início ao seu plantio em 1494 na região de São Domingos (República Dominicana). No Brasil, no ano de 1522 em São Vicente iniciou-se o plantio da cana-de-açúcar trazida da Ilha da Madeira por Martin Afonso de Souza, onde futuramente desta mesma ilha Duarte Coelho Pereira levou a cana para Pernambuco em 1.533 (BASTOS, 1987; SILVA et al., 2003).

Segundo Bastos (1987), os primeiros engenhos no Brasil foram montados pouco depois que Duarte Coelho levou a cana para Pernambuco. A indús-

tria do açúcar cru foi importante em São Paulo, antes da época da mineração, e na Bahia e em Pernambuco durante a invasão holandesa, quando houve certo desenvolvimento e o produto acabou sendo exportando para Java.

No século 16, a produção de açúcar era de 300 arrobas aumentando para 600.000 no século seguinte alavancando as exportações, atingindo um valor acima de 300 milhões de libras. Consequentemente, atingiu um índice tão importante de exportação da colônia que despertou interesse de outras nações, ocorrendo assim o domínio dos holandeses no Brasil sob a direção do príncipe Maurício de Nassau (BASTOS, 1987).

Em 1.520, o movimento colonizador levou a cana para o México e a partir daí ela foi disseminada para toda a América. A distribuição foi lenta, pois a descoberta de minas de ouro e prata causava maior interesse no século 16 (DINARDO-MIRANDA et al., 2010).

De acordo com Bastos (1987), no final do século 16, alguns estados brasileiros já contavam com um grande número de engenhos onde houve uma grande alavancada na produção de açúcar e a comercialização dela principalmente no mercado exterior como no mercado europeu.

Antigamente, a extração do caldo da cana-de-açúcar era feita por meio do processo de esmagamento em rolos de madeira, mas desta forma não se conseguia uma alta eficiência na extração deste caldo. O caldo obtido era então aquecido em tachos abertos sobre o fogo até ficarem cristalizados, e em seguida, essa massa era movimentada até se desprender uma das outras para a sua comercialização (CHAVES JÚNIOR, 2011).

A agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil teve início após muitas tentativas de implantações frustradas em várias regiões do país. Um dos fatores foi a invasão indígena, mas a principal causa foi a diversidade climática das regiões. A região Nordeste demonstrou características favoráveis de clima e solo, o que contribuiu para a expansão da cana-de-açúcar em estados da Bahia, Piauí, Alagoas e Paraíba, e foi também a principal região produtora de açúcar durante o período colonial até a fase da república (CHAVES JÚNIOR, 2011; SILVA et al., 2013).

Silva et al. (2013) destacam que o desenvolvimento da economia brasileira se deu em grande parte devido ao açúcar, que era considerado uma mercadoria destinada principalmente para a exportação, mas devido aos atrasos em inovações e tecnologias acabou tendo uma queda na participação do mercado. Embora tenha tido mais de 45% do mercado mundial, teve que se modernizar para enfrentar a concorrência externa.

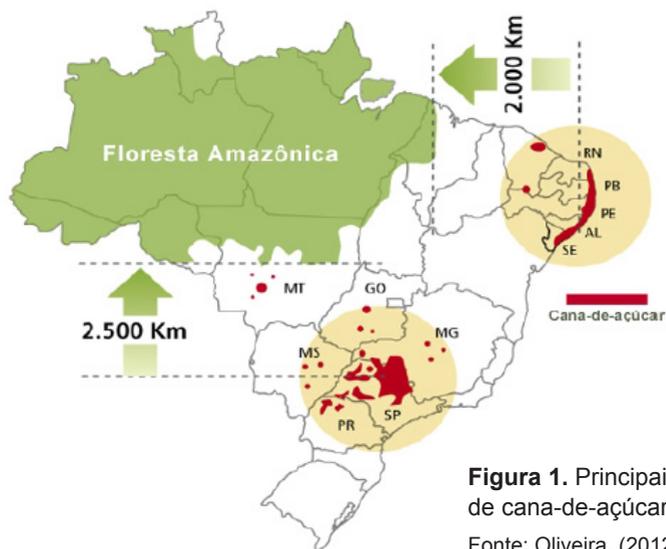
Segundo Chaves Júnior (2011), após a crise do petróleo em 1970, a produção de etanol provinda da cana-de-açúcar teve um grande avanço pela modificação dos antigos engenhos da época para a produção de açúcar como para o etanol, que foi estruturada na forma do Programa de incentivo a produção de etanol, conhecido como Proalcool em 1975.

## **Situação atual**

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e também o primeiro no mundo na produção de açúcar e etanol proveniente de cultura de cana (OLIVEIRA, 2012). Sua produção representa uma das mais importantes culturas comercializadas mundialmente, ocupando mais de 20 milhões de hectares, dos quais sete milhões encontram-se em território brasileiro. Assim, o país se destaca como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, responsável por cerca de 40% da produção total e apresentando uma produtividade média em torno de 70 t/ha (AQUINO et al., 2014).

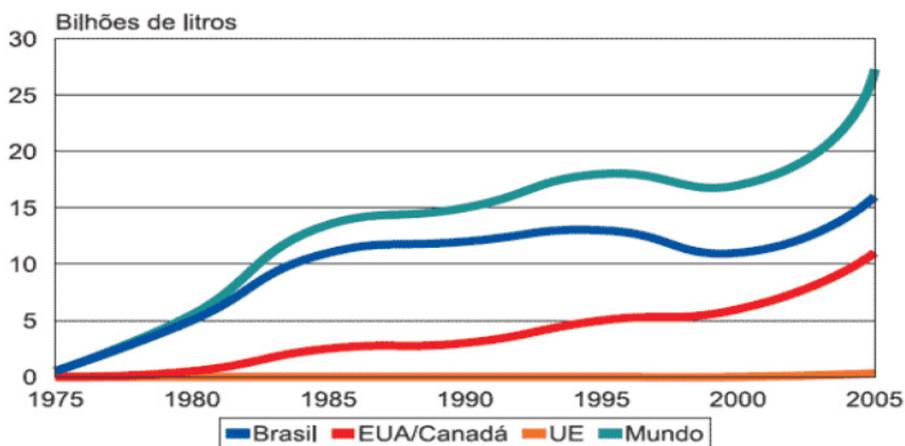
Segundo Oliveira (2012), no Brasil existem duas macrorregiões produtoras de cana-de-açúcar, a região Centro Sul que abrange os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e a região Norte-Nordeste, que abrange os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Pará, Amazonas. Na Figura 1 é possível observar estas duas principais regiões produtoras.

Na Figura 2 pode-se visualizar que o Brasil é pioneiro na produção mundial de etanol, comparado com a produção norte-americana, canadense e europeia e ainda fazendo um paralelo com a produção mundial. O grande potencial para a produção de cana-de-açúcar que o Brasil possui



**Figura 1.** Principais regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: Oliveira, (2012).



**Figura 2.** Produção de etanol no Brasil e no mundo.

Fonte: Adaptado de Aquino et al. (2014).

é devido à grande quantidade de terras disponíveis e com solos propícios para esse cultivo, sendo este um dos principais fatores que contribuiu para que o país seja líder mundial na produção de etanol (AQUINO et al., 2014).

**Tabela 1.** Balanço energético proveniente de algumas matérias-primas do etanol.

Matérias primas	Energia renovável/ energia fóssil usada
Etanol de milho (USA)	1,3
Etanol da cana (Brasil)	8,9
Etanol de beterraba (Alemanha)	2,0
Etanol de sorgo sacarino (África)	4,0
Etanol de trigo (Europa)	2,0
Etanol de mandioca	1,0

Fonte: Adaptado de Aquino et al. (2014)

Pode-se perceber, de acordo com a Tabela 1, o grande potencial energético advindo da cana-de-açúcar, que faz com que o etanol brasileiro se destaque. (AQUINO et al., 2014).

A agroindústria canavieira hoje se mostra bastante favorável devido ao esgotamento das jazidas petrolíferas e à elevação do preço do petróleo. Além disso, há uma conscientização da sociedade em relação ao meio ambiente sobre os efeitos negativos da utilização de combustíveis de origem fóssil no balanço de carbono na atmosfera e o efeito de aquecimento da superfície da terra. Associa-se a isso, o crescimento do consumo de açúcar e do etanol sendo significativo apesar da oscilação do mercado (SILVA et al., 2013).

Além da preocupação ambiental, a cana-de-açúcar se mostra muito importante para o país devido aos dois produtos de grande peso comercial nacional que ela gera: o açúcar e o etanol, que se tornaram commodities nacionais. Nesse caso, o Brasil tem grandes possibilidades de produção devido a suas grandes áreas de terras cultiváveis que ainda podem ser exploradas comercialmente e suas condições edafoclimáticas propícias para a cana-de-açúcar (CHAVES JÚNIOR, 2011).

O cultivo da cana-de-açúcar continua crescendo e constantemente as usinas buscam ficar mais modernas, instalando novas tecnologias e empreendimentos como a geração de energia elétrica. Chaves Júnior (2011) ressalta que é inevitável que o Brasil se prepare para atender as novas exigências do mercado mundial, principalmente em relação ao etanol devido

ao grande aumento na demanda mundial deste e a pressão mundial para novas fontes renováveis de energia. Neste caso, os avanços tecnológicos podem estar ligados tanto na parte agrícola como na parte da produção desses produtos.

Para Carvalho et al. (2012), o setor sucroenergético vem sofrendo profundas modificações nos últimos anos, sobretudo na região centro-sul do país e em especial, no estado de São Paulo com maior intensidade. As principais mudanças são a redução da queima do canavial e como consequência o aumento da colheita e plantio mecanizado, sendo que ambos estão relacionados a significativas reduções na qualidade das operações. No entanto, a eliminação da queima do canavial e a manutenção da palha na superfície do solo tem expressado um grande avanço para o setor sucroenergético, gerando benefícios tanto agrônômicos como ambientais.

As queimadas de cana-de-açúcar contribuem indiretamente para a intensificação do efeito estufa, através da emissão de gases como o óxido nitroso ( $N_2O$ ) e o metano ( $CH_4$ ) (SILVA et al., 2013). Em regiões canavieiras do estado de São Paulo, os níveis de ozônio são da ordem de 80ppb durante o período da colheita dos canaviais, enquanto são considerados normais níveis da ordem de 20 a 40ppb. Apesar de reduzir matérias estranhas e animais e de facilitar o corte manual, as queimadas de pré-colheita também ocasionam implicações técnico-econômicas e socioambientais, pois é uma “agressão ao meio ambiente, além de causar desequilíbrios biológicos na flora, fauna, levando em longo prazo, ao aumento da utilização de agroquímicos na cultura” (RIPOLI, 2012).

## **Cana-de-açúcar e produção de etanol**

A cana-de-açúcar é uma planta com ciclo fotossintético do tipo  $C4^{10}$  (metabolismo), do gênero *Saccharum* e da família *Poaceae*, composta por espé-

---

<sup>10</sup>Plantas  $C4$ , o  $CO_2$  entra pelas folhas através dos estomas, parte é absorvido pelas células mesófilas e parte fica no líquido citoplasmático, aumentando a eficiência de captação de  $CO_2$ , que transforma-se em bicarbonato em meio aquoso, o qual reage com um composto de 3 carbonos (posfoenolpiruvato) e forma um composto de 4 Carbonos, resultando desta forma o nome  $C4$ .

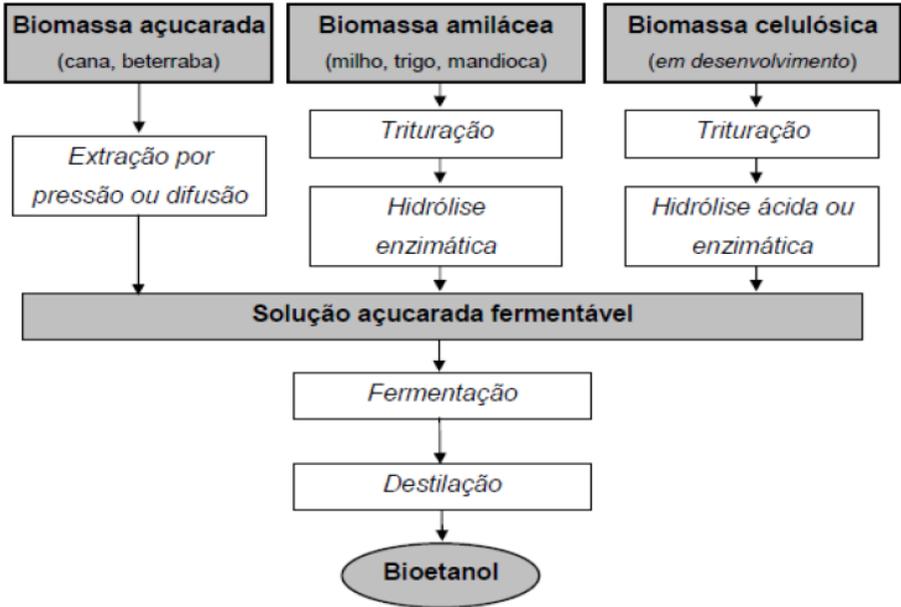
cies perenes de grama alta. Normalmente, as atividades agrícolas iniciam cerca de dois a três anos antes da produção efetiva para fins industriais, a fim de se obter uma produção de matéria-prima estável dentro de três a quatro anos (AQUINO et al., 2014).

No cultivo da cana-de-açúcar, o clima ideal é aquele que tem duas estações bem definidas: uma quente e úmida, para tornar possível seu surgimento e desenvolvimento vegetativo, e uma estação fria e seca, que promove a maturação e conseqüente acúmulo de sacarose nos caules. Normalmente a colheita ocorre após os períodos de chuvas, procurando alcançar o melhor ponto de maturação e o acúmulo máximo de sacarose na planta, e também para que possam ser realizadas as operações de corte e transporte (AQUINO et al., 2014).

Considerando que a produção de etanol baseia-se na bioconversão enzimática de açúcares aptos a serem fermentados, como no caso da cana-de-açúcar, assim como há possibilidade da utilização seus subprodutos, se houver disponibilidade na unidade agroindustrial, como, por exemplo, o melaço residual da fabricação do açúcar, faz com que esta cultura seja a matéria-prima principal para a produção do etanol (FARIAS, 2013).

Entretanto, há algumas rotas tecnológicas passíveis de serem utilizadas para a produção de etanol que variam de acordo com a matéria-prima utilizada, como pode ser observado na Figura 3. A produção a partir da cana-de-açúcar inicia-se com a extração do caldo de cana por moagem ou difusão, seguindo de passos de tratamento do caldo à fermentação e destilação.

O etanol, de acordo com as rotas tecnológicas, pode ser produzido com base em qualquer biomassa que contenha quantidades significativas de amidos e açúcares. Na Tabela 2 é possível visualizar que a produção mundial de etanol utiliza diferentes fontes de biomassa, não se restringindo apenas ao uso da cana-de-açúcar (FARIAS, 2013). As matérias-primas que mais se destacam mundialmente são a cana-de-açúcar, o milho, a beterraba açucareira, o sorgo sacarino, o trigo, a mandioca e os resíduos florestais. Diferentemente dos Estados Unidos que na produção de etanol utiliza o milho como matéria-prima. Já o Brasil fundamenta-se na fermentação a partir da sacarose contida na cana-de-açúcar.



**Figura 3.** Rotas tecnológicas para a produção de etanol.

Fonte: Adaptado de Aquino et al. (2014).

**Tabela 2.** Países e matérias primas para a produção de etanol.

Matéria prima	Países
Cana-de-açúcar	Brasil, Índia, Austrália, Peru e Argentina
Milho	Estados Unidos e Canadá
Beterraba açucareira	França, Alemanha e Espanha
Mandioca	Tailândia
Trigo	China
Resíduos florestais	Suécia
Sorgo sacarino	China, África e Índia

Fonte: Adaptado de Farias (2013).

## Plantio de cana-de-açúcar

Para finalidade de realizar a implantação de um canavial deve-se primeiramente fazer um planejamento da área (ROSSETO; SANTIAGO, 2014; SILVA et al., 2013), as etapas do processo seriam: a) levantamento topo-

gráfico do local e nos locais onde vão ocorrer os plantios, b) sistematização do terreno, no qual se subdivide a área em talhões; c) alocação de careadores principais e secundários, atendendo os princípios de conservação do solo e a execução de terraços devem orientar todo o planejamento da sistematização do terreno e finalizando com planejar o plantio das mudas por meio da busca no mercado de fornecedores certificados.

Nos últimos anos com a intensificação da mecanização da lavoura, direciona-se a obtenção de talhões planos mantendo linhas de cana com grande comprimento para evitar manobras das máquinas, otimizando assim as operações mecanizadas (ROSSETO; SANTIAGO, 2014). A adoção do paradigma da cana energia tem-se enfatizado a otimização se as operações de colheita mecanizada e resulta em os talhões de cana que são subdivididos quanto à topografia e à homogeneidade do solo e apresentam, em média, entre 10 a 20 hectares (SILVA et al., 2013).

O plantio da cana-de-açúcar pode ser realizado tanto de forma manual como de forma mecânica. De acordo com Ripolli e Ripoli (2004) e Rosseto e Santiago (2014), o plantio compreende, basicamente, três etapas principais que são: o corte de mudas; a distribuição de mudas no sulco; o corte dos colmos em pedaços menores dentro do sulco; e, a cobertura. Porém, antes de se realizar a distribuição das mudas nos talhões, muitas variáveis devem ser levadas em consideração, como destacado por diversos autores:

- 1) Caracterização e coleta de amostras de solo para fins de fertilidade: após terminar a sistematização do terreno, o produtor deve coletar amostras de solo em cada talhão para análise com vistas às operações de correção do solo e adubação (SILVA, 2009).
- 2) Planejamento e Seleção de Cultivar, que definirá as operações iniciais de escolha da cultivar para toda safra (precoces, médias e tardias) e a formação de mudas sadias em viveiro: antes do plantio, é muito importante que o produtor escolha a cultivar que se adapta às características do local (ambiente de produção) onde sua propriedade está estabelecida, com o objetivo de melhorar o aproveitamento dos recursos naturais de solo e de clima e, conseqüentemente, planejar a faixa de produtividade a se alcançada (SILVA et al., 2015). É fundamental certificar-se se a cultivar selecionada é resistente às principais molés-

tias que podem ocorrer em canaviais. Após a escolha da cultivar, é de fundamental importância que o produtor verifique ainda a procedência das mudas escolhidas, ou seja, deve ser viveiro certificado que garantam que as mudas são sadias (mudas pré brotadas ou toletes) e se realmente o material genético são da variedade escolhida.

- 3) Estabelecimento das épocas de plantio (ROSSETO; SANTIAGO, 2014): a escolha adequada da época de plantio é fundamental para desenvolvimento adequado da cultura da cana-de-açúcar, a qual tem requisitos climáticos para crescimento, formação e maturação do canavial, ou seja, necessita condições de disponibilidade de água, temperaturas adequadas e alto índice de radiação solar e outros fatores para se desenvolver e acumular açúcar nos colmos. Atualmente, de acordo com Ripoli; Ripoli (2004) e Silva et al. (2013, 2105) a implantação do canavial é realizada em três épocas diferentes: sistema de ano-e-meio, sistema de ano e plantio de inverno.
- 4) No sistema de ano-e-meio (cana de 18 meses) que predomina na região Centro Sul: as mudas são plantadas entre os meses de janeiro e março. Ocorre nos primeiros três meses, a planta inicia seu desenvolvimento e, com a chegada da seca e do inverno, o crescimento passa a ser muito lento durante cinco meses (abril a agosto), vegetando nos sete meses subsequentes (setembro a abril), para, então, amadurecer nos meses seguintes, até completar 16 a 18 meses (ROSSETO; SANTIAGO, 2014). Ressalta-se que o período das águas (janeiro a março) é considerado o melhor para o plantio da cana-de-açúcar, porque encontra-se boas condições de temperatura e umidade, garantindo o desenvolvimento das gemas. Deste modo, tem-se condições edáficas que possibilita a brotação rápida, reduzindo a incidência de doenças nos toletes (SILVA et al., 2013, 2105).
- 5) Por sua vez, o sistema de ano (cana de 12 meses) tem sido utilizado quando há uma forte necessidade de ter matéria prima para indústria, em algumas regiões, a cana-de-açúcar pode ser plantada no período de outubro a novembro. Tal sistema de plantio precisa ser utilizado de forma restrita (RIPOLI; RIPOLI, 2004; ROSSETO; SANTIAGO, 2014; SILVA et al., 2013, 2105), pois apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

- Vantagens: quando se tem grandes áreas para plantio, uma segunda época de plantio facilita o gerenciamento e aperfeiçoa a utilização de máquinas e de mão-de-obra, que ficam subdivididas entre o período de plantio de cana de ano-e-meio e cana de ano.
  - Desvantagens e limitações: menor produtividade que a cana de ano-e-meio por ter menos tempo para fase vegetativa, uma vez que a cana de ano tem apenas sete ou oito meses de crescimento efetivo (um verão); o preparo do solo para o plantio da cana de ano pode ser dificultado, uma vez que há pouco tempo para o preparo, incorporação do calcário e de outros corretivos (gesso e/ou silicatos) entre outros fatores. A questão do tempo é crucial para planejamento, logo após a colheita anterior é necessário arrancar as soqueiras para um novo plantio. Deste modo, o cronograma operacional é muito apertado, porque no início da estação chuvosa, ocorrem poucos dias úteis para operações agrícolas e, se a área de plantio for muito grande, é necessária elevada quantidade de mão-de-obra em pouco tempo; e em algumas situações e para variedades floríferas, praticamente adiciona-se o custo de utilização de inibidores de florescimento pode ser necessária.
- 6) Já o plantio de inverno tem-se uma utilização restrita no planejamento varietal: requer uma utilização de vinhaça e de torta de filtro, que contém cerca de 70 a 80% de umidade, aplicada no sulco de plantio é possível plantar a cana-de-açúcar mesmo no período de estiagem. Deste modo, a torta fornece a umidade necessária para a brotação. Se ainda for feita uma fertirrigação com vinhaça, ou mesmo irrigação, o plantio da cana pode ocorrer praticamente o ano todo (ROSSETO; SANTIAGO, 2014).
- 7) Espaçamento e profundidade: tem-se discutido muito o tema devido à intensificação da mecanização na colheita e o problema de danos sobre a soqueira (abalo) pela passagem de rodados sobre laterais das mesmas, assim sendo, a escolha de um espaçamento adequado é de fundamental importância, já que possibilita a otimização de atividades como o uso intensivo de máquinas e colheita. O espaçamento adequado contribui para o aumento da produção, pois interfere favoravelmente na disponibilização de recursos para suportar uma população de plan-

tas em boas condições de luz, água e temperatura - variáveis consideradas determinantes para que haja aumento de produção, em especial a própria arquitetura da variedade (folhas eretas ou mais decumbentes) e de seu perfilhamento em condições de cana crua com cobertura de palhada na brotação. No entanto, o espaçamento do plantio deve variar de acordo com a fertilidade do terreno e as características da variedade recomendada. No caso da cana-de-açúcar, o espaçamento entre sulcos pode variar de 1,0 metro a 1,8 metros, em sulcos simples (tradicional ou base larga) ou linhas combinadas (duplo alternado) com as seguintes recomendações:

- A profundidade do sulco deve variar entre 20 e 30 centímetros.
  - Em solos arenosos, espaçamentos mais estreitos como 1 metro ou 1,20 m são mais indicados, pois permitem que o fechamento da entrelinha ocorra mais rapidamente, facilitando o controle do mato. Se a colheita for mecanizada, o espaçamento deve ser de ao menos 1,5 m para evitar o "pisoteamento" e a compactação das linhas de cana pelas rodas das máquinas. Em solos férteis, o espaçamento mais comum é de 1,5 m (SILVA et al., 2003). Na prática tem-se classificados os espaçamentos em uniformes (simples) ou combinados.
- 8) Espaçamento uniforme: quando a distância entre os sulcos de plantio é constante em toda a área plantada, mas podem ser em sulcos tradicionais ou em formatos de base larga (0,5 m a 0,8 m de base por 1,8 m a 2 m).
  - 9) Espaçamento combinado: quando num mesmo talhão combinam-se faixas de espaçamento uniforme com faixas de espaçamento alternado, a fim de propiciar condições para o controle do tráfego. Para a cultura da cana é comum o chamado espaçamento "abacaxi" (0,30 m a 0,50 m x 1,5 m), onde duas linhas de cana são plantadas a 0,30 m a 0,50 m de distância uma da outra, com espaçamento da entrelinha de 1,50 m, num total de 1,80 m. O sistema duplo alternado tem-se plantados no espaçamento de 0,90 m x 1,8 m. Existe, também, o plantio com sulcos largos. Neste caso, o sulcador faz o sulco com base larga, permitindo o plantio de mudas para formar uma linha dupla. O espaça-

mento total é também de 1,80 metros que será definido pelos equipamentos utilizados na mecanização.

- 10) Planejamento da quantidade necessária de mudas e a eficiência do plantio mecanizado: a quantidade necessária de mudas varia entre 10 e 15 toneladas por hectare, mas em plantios mecanizados podem ser utilizado mais de 20 t/ha. Quando a época de plantio é adequada e a qualidade da muda está excelente, pode-se optar por menores quantidades de mudas dependerá da viabilidade e a qualidade das gemas dos toletes ou da população de mudas pré brotadas a serem colocadas na área. Se as mudas de toletes são canas jovens, com oito há dez meses plantados em condições ótimas bem fertilizadas e com controle de pragas e doenças. É necessária a distribuição de ao menos 12 gemas por metro de sulco. Para o plantio em épocas de estiagem, é necessário dar preferência para densidade de 15 a 18 gemas por metro.
- 11) Operação de plantio: uma vez seguidas todas as recomendações de preparo da área que receberá as mudas, deve-se fazer o plantio. Como a cana-de-açúcar é uma cultura semi perene, o plantio é a ocasião de preparar o solo criteriosamente para o cultivo da cana que ocorrerá nos cinco ou seis anos subsequentes. É a oportunidade de aplicar calcário e incorporá-lo e controlar pragas como cupins, migdolos e plantas daninhas (ROSSETO; SANTIAGO, 2014).

Nos sistemas de produção com colheita mecanizada (sem queima) são encontradas três técnicas de preparo do solo, que são: a) convencional, com o uso intensivo de arados, grades e/ou subsoladores; b) cultivo mínimo, com preparo restritivo a uma gradagem para destruição da soqueira e nivelamento do terreno; c) plantio direto com a destruição química ou física da soqueira e posterior sulcação, mantendo a palha nas entrelinhas (SEGATO et al., 2006). Ao mesmo tempo em que arados e grades niveladoras, com ou sem o uso de subsoladores, trazem benefícios à cultura em implantação, alterações morfoestruturais ocorrem no solo pela destruição de sua agregação, diminuição da atividade biológica benéfica e mineralização acelerada da matéria orgânica e rápida queima do carbono orgânico acumulado. Essas alterações evidenciam a necessidade de adoção de práticas alternativas de manejo do solo (TAVARES

FILHO et al., 2001). O plantio direto, ou sulcação direta, é uma dessas alternativas.

De acordo com Carvalho et al. (2012), o plantio direto de cana-de-açúcar deverá ser associado às quatro etapas básicas listadas a seguir:

1. Cobertura do solo.
2. Rotação de culturas.
3. Revolvimento mínimo.
4. Controle e redução do tráfego.

Onde as duas primeiras etapas são facilmente aplicáveis à cana-de-açúcar, enquanto que o revolvimento mínimo dependerá de um tráfego adequado na condução do canavial, que não acarrete elevados índices de compactação do solo. Neste sentido, o controle e a redução do tráfego auxiliam na redução da compactação do solo e reduz o pisoteio das soqueiras, permitindo assim a execução do cultivo mínimo durante a reforma do canavial (CARVALHO et al., 2012). Como alternativa de rotação de culturas, temos a implantação de culturas anuais como soja, milho, amendoim, girassol, crotalaria, entre outras. A rotação de culturas tem sido utilizada por mais de uma década em várias áreas de produção de cana-de-açúcar, promovendo a melhoria da fertilidade e eficiência de uso de água e de nutrientes e, em especial, dos atributos físicos do solo (FINOTO et al., 2012; LUZ et al., 2005).

## **Espaçamentos de plantio de cana-de-açúcar**

Atualmente, devido ao crescimento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar no Brasil, o setor teve que se questionar em relação ao tipo de espaçamento de plantio a ser adotado em função do aumento da compactação e diminuição da longevidade do canavial. Atualmente, os principais tipos de espaçamentos de plantio adotados no Brasil variam entre 0,9 m a 1,6 m, podendo ser duplo (combinado) ou simples (CASIERO, 2014).

Estudos sobre espaçamentos de plantio em cana-de-açúcar foram realizados no passado, tendo como propósito esclarecer quais deles resultavam em maiores produtividades, contemplando o desempenho da cultivar de cana, mato-competição, níveis de irrigação e ambientes edafoclimáticos. Grande parte destes estudos mostrou que os melhores resultados de produtividade ocorriam nos espaçamentos menores. No entanto, a adoção de espaçamentos de plantio menores vem sendo muito questionada em função da intensificação do tráfego de colhedoras e transbordos sobre os canaviais nas suas diversas fases, na qual podem alterar as propriedades físico-hídricas e biológicas do solo e, conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento da planta (CASIERO, 2014). Por definição, o espaçamento do plantio é a distância entre os sulcos ou fileiras de plantio adjacentes, de acordo com OLIVEIRA (2012). No Brasil são usados três tipos: o uniforme (distância entre os sulcos são uniformes no talhão), o alternado (distância entre os sulcos é variável) e o combinado (distância entre os sulcos possui uma combinação entre faixas, com espaçamentos uniforme e alternado). O autor afirma ainda que o espaçamento no plantio é um dos fatores mais pesquisado nos sistemas de produção da cana-de-açúcar, devido a sua forte relação com os sistemas mecanizados que trafegam nos talhões durante o processo de produção de cana-de-açúcar. Os plantios podem apresentar vários tipos de espaçamentos, com bitolas das entrelinhas variando de 1 m a 1,6 m, além do espaçamento combinado, que associam linhas duplas distanciadas de 0,4 m a 0,5 m entre si e 1,4 m entre as duplas para favorecer a colheita mecanizada.

Já Casiero (2014) explica que a cana-de-açúcar pode ser cultivada nos mais variados espaçamentos de plantio, sendo que o tamanho destes pode variar de 0,3 a 2,4 m. Embora a redução na distância entre os sulcos resulte em ganhos de produtividade, o espaçamento ideal entre os sulcos no plantio da cana-de-açúcar dependerá do sistema de colheita. Todavia, na colheita mecanizada o tráfego de tratores e caminhões de transbordo e de colhedoras é intenso devido ao aumento da produtividade ocasionada pela redução do espaçamento, em contrapartida, se tem o aumento da compactação do solo e pisoteio das soqueiras (OLIVEIRA, 2012). De um modo geral, os diversos estudos de espaçamento simples tradicionais conduzidos nas regiões de Campos dos Goytacazes, Piracicaba e Macatuba, em comparação aos espaçamentos combinados (duplo alternado – 0,90 m x 1,50 m ou 0,5 m x 1,40 m), deram ganhos ao espaçamento combina-

do em média de 10% em tonelada de cana por hectare (CASIERO, 2014; OLIVEIRA, 2012, entre outros autores).

Um dos fatores que contribui para a produtividade final da cana-de-açúcar é a distância entre as fileiras de plantio. Porém, o Brasil carece de estudos sobre o impacto da colheita mecanizada na produtividade desta cultura e nos espaçamentos de plantio utilizados atualmente. Casiero (2014) aponta que 76% da colheita de cana-de-açúcar foram realizadas mecanicamente na região Centro sul do Brasil, na safra 2012/2013.

De acordo com Benedini e Conde (2008), os produtores de cana têm observado que há uma redução da distância entre sulcos no plantio da cana-de-açúcar e na maioria das vezes resulta em ganhos de produtividade. O aumento de produtividade agrícola vem sendo observado em inúmeros experimentos, onde o maior aumento da produtividade ocorre significativamente em solos de menor fertilidade, com a utilização de menores espaçamentos entre sulcos.

Vários fatores podem interferir no aumento da produtividade como, por exemplo, a maior área foliar da planta, o maior aproveitamento dos nutrientes e água do solo, o melhor controle de ervas daninhas pelo fechamento rápido etc; sendo que a qualidade da matéria-prima é pouco afetada pela redução do espaçamento. No entanto, no caso específico da cana-de-açúcar, a mecanização intensa no sistema de colheita e sua característica de colheita rua a rua comprometem este aumento de produtividade. Portanto, o espaçamento ideal entre sulcos no plantio da cana-de-açúcar dependerá do sistema de colheita a ser empregado (BENEDINI; CONDE, 2008).

## **Colheita mecanizada**

Durante o processo da colheita mecanizada, acontece um tráfego intenso de colhedoras na lavoura, principalmente tratores ou caminhões transbordos. Com isso percebe-se que os benefícios do aumento de produtividade provindos do menor espaçamento são ultrapassados pelos prejuízos provocados pela maior compactação do solo e pisoteio das soqueiras (BENEDINI; CONDE, 2008).

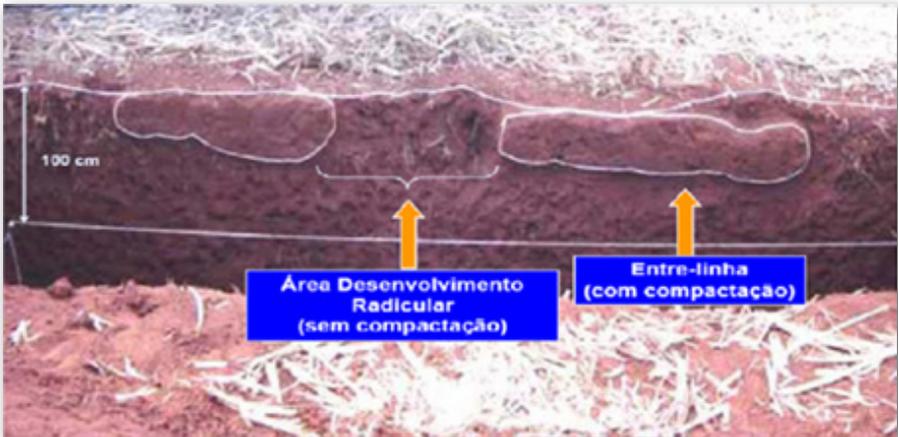
Segundo Carvalho et al. (2012), atualmente, o setor sucroenergético vem se posicionando no sentido de reduzir e controlar o tráfego de máquinas, principalmente no que se refere à colheita do canavial. Para Souza (2012) a adoção da colheita mecanizada da cana no Brasil implica diretamente em alterações no manejo da lavoura e o principal aspecto a ser considerado é a necessidade de se adequar o espaçamento de plantio da cultura, para evitar o pisoteio causado pelo maquinário sobre os sulcos de plantio, pois este fator reflete diretamente sobre as rebrotas das soqueiras, comprometendo desta forma com a produtividade final de colmos e consequentemente a produtividade.

Tendendo a reduzir o tráfego de máquinas, comercialmente têm surgido recursos de piloto automático georreferenciados que são instalados nas plantadoras, colhedoras e tratores de transbordo, assim como têm surgido novas opções de bitola para tratores e carretas de transbordo compatíveis com a bitola das colhedoras, como também colhedores alternativos com bitolas mais largas, que podem colher até três linhas de cana numa mesma passada, consequentemente aumentando o rendimento operacional e reduzindo o consumo de combustíveis fósseis (CARVALHO et al., 2012).

No Brasil, algumas estimativas preliminares indicam que o pisoteio das soqueiras de cana-de-açúcar ainda é um dos maiores problemas da atividade canvieira, ocasionando redução da produtividade e longevidade do canavial (Figura 4). Porém, no cenário atual, observa-se que cerca de 60% da superfície do solo é destinada ao tráfego de máquinas, enquanto que os 40% restantes são destinados ao cultivo da cana-de-açúcar (CARVALHO et al., 2012).

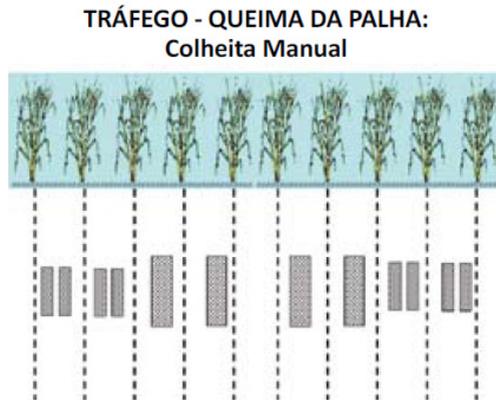
Carvalho et al. (2012), acreditam que o sistema de menor revolvimento da terra na fase de sulcação na implantação da lavoura, como o plantio direto ou cultivo mínimo da cana-de-açúcar só será sustentável se for associado à redução e a um controle efetivo de tráfego, o que reduzirá a compactação e o pisoteio de soqueiras. A Figura 5 apresenta um perfil de solo, onde é possível visualizar o solo compactado devido ao tráfego intenso de maquinários agrícolas e o não compactado.

A Figura 5 mostra o tráfego na colheita manual e carregamento mecanizado, em leiras de cinco ruas. Já na Figura 6 mostra o aumento deste tráfego



**Figura 4.** Demonstração da compactação do solo causada pelo tráfego intenso de máquinas agrícolas em canaviais da região centro sul do Brasil.

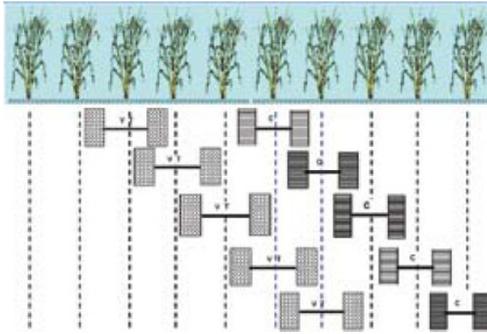
Fonte: Carvalho et. al. (2012).



**Figura 5.** Tráfego de máquinas na colheita manual e carregamento mecanizado (caminhão e carregadora da esquerda para a direita).

Fonte: Adaptado de Benedini e Conde (2008).

**TRÁFEGO - CANA SEM QUEIMA:  
Colheita Mecânica**



**Figura 6.** Tráfego de máquinas na colheita mecanizada com colhedora (transbordo e colhedora da esquerda para a direita).

Fonte: Adaptado de Benedini e Conde (2008).

quando a colheita passa para totalmente mecanizada pelo fato desta ser em toda rua de cana. O acentuado tráfego de máquinas, sobretudo proveniente de transbordos e colhedoras que colhem apenas uma linha por vez, resulta em uma grande superfície de solo pisoteada, acarretando a compactação de solo conforme é notado na Figura 6 (BENEDINI; CONDE, 2008).

Devido ao tráfego intenso de maquinários sobre o solo, o espaçamento ideal entre linhas para a colheita mecanizada é de 1,50 m, onde este maior espaço entre ruas de cana resulta em uma colheita sem agravamentos ao canavial possibilitando uma maior longevidade do canavial, pois espaçamentos menores, por exemplo, de 1,40 m fazem com que a colhedora “pise” na soqueira, isto é, que o rodado da máquina passe sobre a lateral da touceira, ou seja, na própria linha de cana vizinha à que está sendo colhida e tombe a cana, fazendo também com que o transbordo trafegue sobre a linha de cana já colhida para evitar “bater” no elevador da colhedora (BENEDINI; CONDE, 2008).

Ensaio conduzidos pelo Centro de Tecnologia Canaveira [2013] mostram queda de produtividade próxima a 10 t ha<sup>-1</sup> por ano somente pela ação do pisoteio. Fatores como profundidade, paralelismo e sulcação são fatores fundamentais (chaves do sucesso) e que devem ser observados

também, pois as atividades de plantio da cana-de-açúcar, quando executadas dentro das recomendações técnicas, auxiliam de maneira significativa a qualidade da matéria-prima entregue na indústria, ajudando nas operações subsequentes e conseqüentemente trazendo grande impacto na redução dos custos de produção da empresa (BENEDINI; CONDE, 2008).

De acordo com Schogor et al. (2009), na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, existem algumas peculiaridades relacionadas às interações solo-planta-máquina, que resultam em perdas no campo, redução na qualidade da matéria-prima e redução da longevidade do canavial. No entanto, as perdas podem ser classificadas como visíveis e invisíveis, sendo:

- Perdas visíveis representam colmos inteiros e/ou suas frações, rebolos e tocos resultantes no corte basal.
- Invisíveis são constituídas por caldo, pequenas partículas de cana decorrentes da ação dos mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana durante o processamento interno nas máquinas.

Portanto, é importante considerar o método de colheita a ser adotado em uma propriedade, para assim determinar a eficiência de corte, os danos em soqueira e as perdas durante o processo, entre outros (SCHOGOR et al., 2009).

## **Materiais e métodos**

### **Localização e caracterização da região onde se encontra o experimento**

Os dados levantados referentes ao Município de Guaiçara, SP foram coletados em campo experimental, em sites, com ajuda de softwares e também por meio de informações fornecidas pelos responsáveis pelo experimento (Usina Renuka - Grupo Equipav - Unidade Madhu).

## Área experimental

O trabalho foi realizado na Fazenda Nova Holanda, no Município de Guaiçara, SP, em área experimental da Usina Madhu. A área experimental é possível ser vista nas Figuras 7 e 8. “A área escolhida é homogênea em tipo de solo e relevo local, o que favoreceu a experimentação e se localiza entre as coordenadas geográficas 21° 37' 17.8” Latitude Sul e 49° 50' 01.0” Longitude Oeste.

## O Município

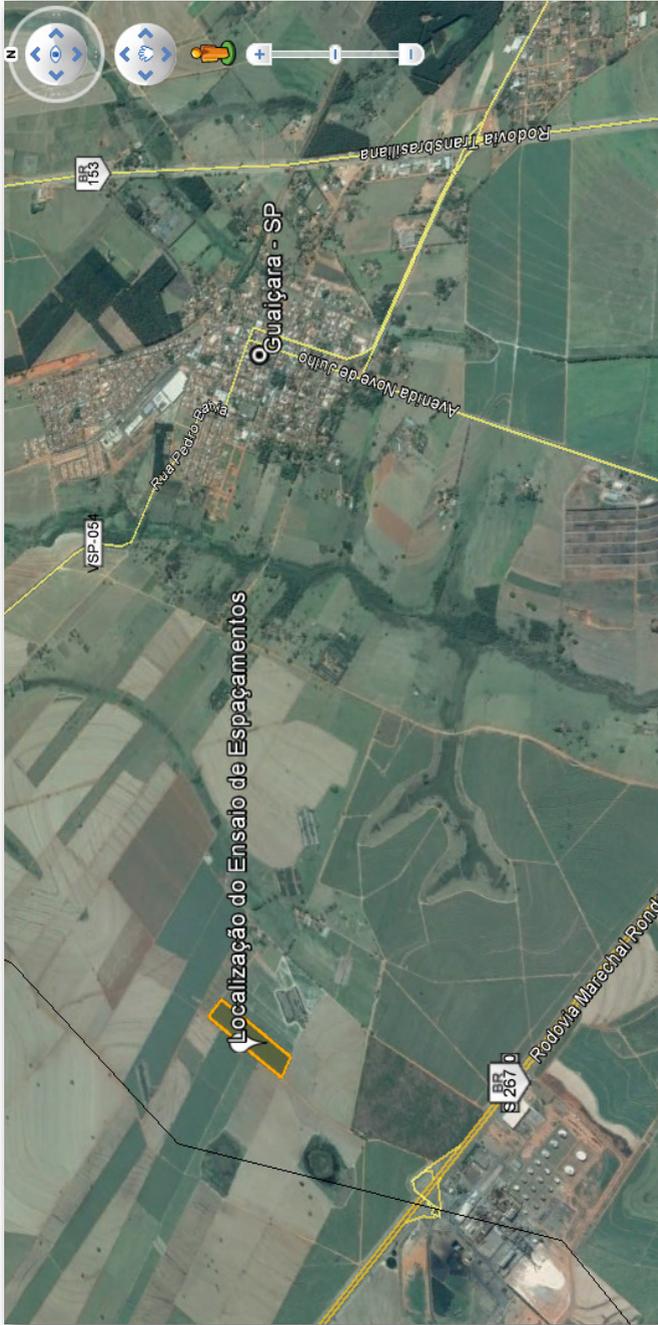
Guaiçara é um município situado no interior do estado de São Paulo, a 442 quilômetros da capital. Sua população é de 10.670 habitantes, segundo censo do

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, distribuídos em uma área de 271,414 km<sup>2</sup>. Localiza-se a uma latitude 21° 37' 19" sul e a uma longitude 49° 47' 56" oeste, a uma altitude média entre 370 e 492 m, sendo a própria cidade localizada a 450 m de altitude, conforme mostrado na Figura 9.

## Clima e precipitação

O clima, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com uma estação seca, que vai de abril a agosto e a estação chuvosa compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso (CUNHA et al., 1999).

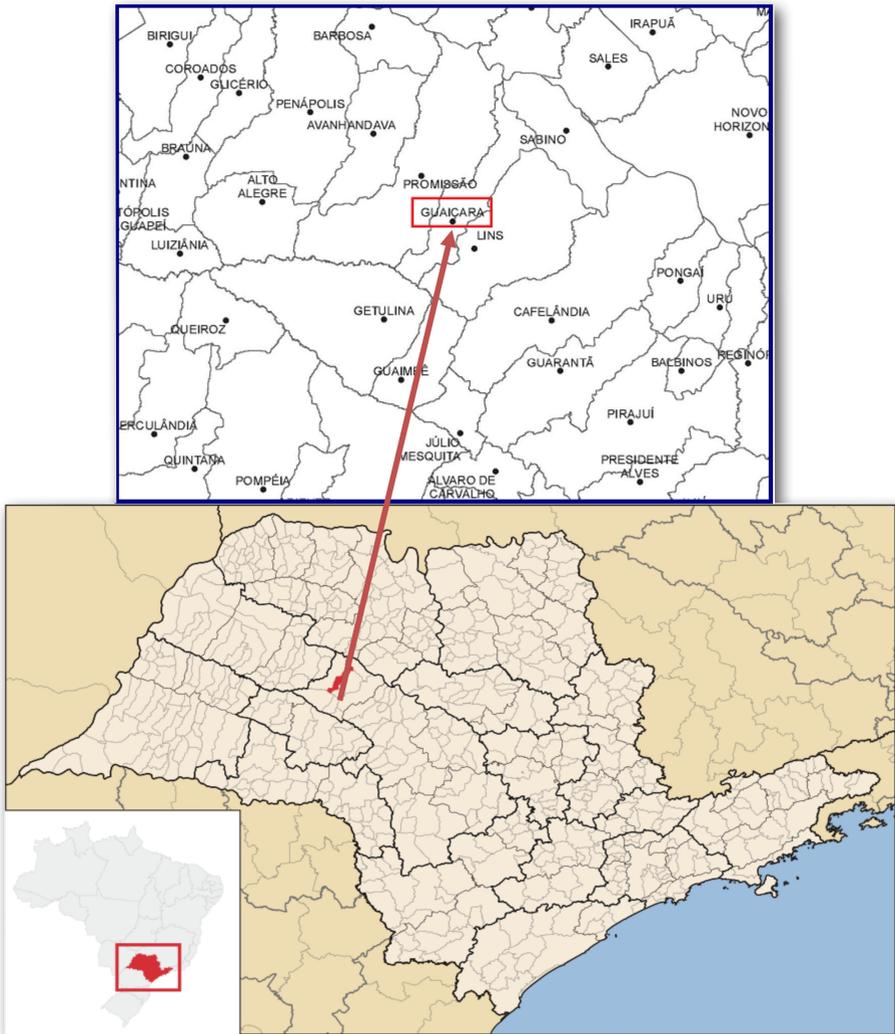
Devido à maior disponibilidade de dados, as informações climáticas referentes à precipitação do Município de Promissão, SP de estação climatológica que localiza-se cerca de 12,7 quilômetros de distância do Município de Guaiçara, SP (fazem divisa os municípios). A temperatura média no inverno varia entre 14 °C e 27 °C, e no verão varia entre 20 °C e 30 °C. A precipitação anual está entre 1.300 e 1.400 mm, de acordo com dados do Tempo Agora mostrados na Tabela 3 e Figura 10 .



**Figura 7.** Vista geral da localização do experimento no campo de pesquisa da Usina Renuka.  
Fonte: Google Earth (2012).



**Figura 8.** Visão aérea da área experimental.  
Fonte: Google Earth (2012).



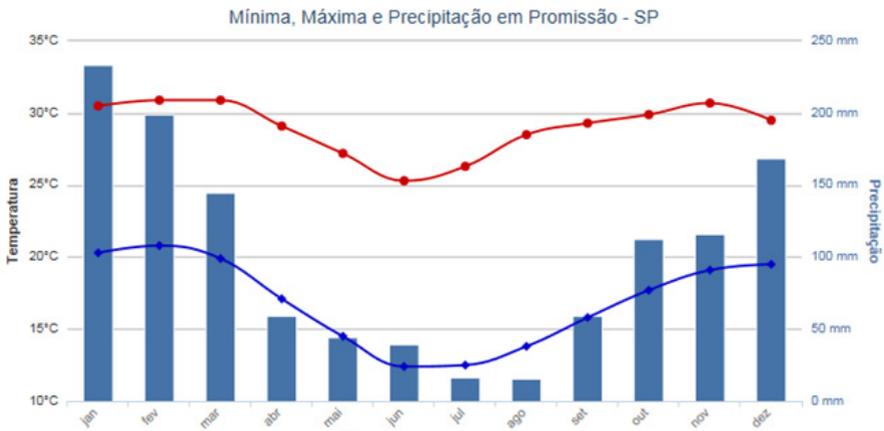
**Figura 9.** Localização do município de Guaiçara, SP, onde se situa a área experimental.

Fonte: Adaptado do Instituto Geográfico e Cartográfico (2014).

**Tabela 3.** Índice de precipitação na região de Promissão, SP, com base em série histórica de 29 anos.

	Pluviosidade - média e dispersão											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pluviosidade média (mm)	233,5	198,7	145,1	59,1	44,4	39,6	16,7	15,5	59,1	112,8	115,6	168,2
Temperatura mínima	20,3	20,8	19,9	17,1	14,5	12,4	12,5	13,8	15,8	17,7	19,1	19,5
Temperatura máxima	30,5	30,9	30,9	29,1	27,2	25,3	26,3	28,5	29,3	29,9	30,7	29,5

Fonte: Tempo Agora (2014).

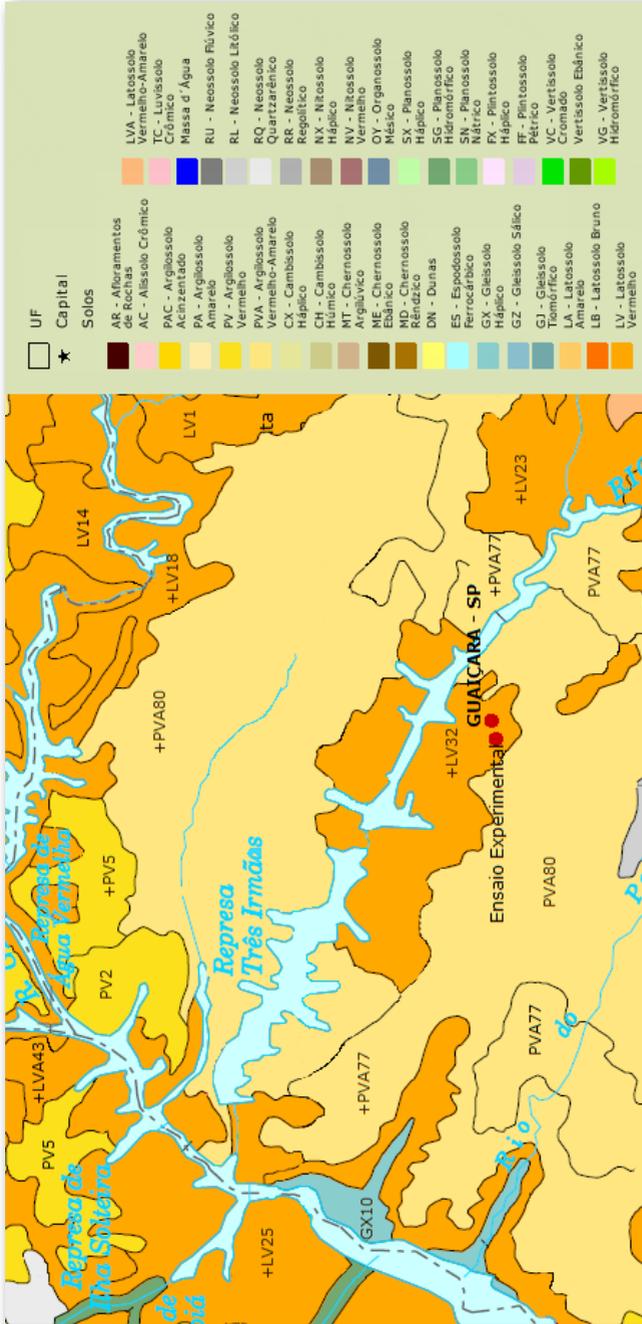
**Figura 10.** Temperaturas máxima e mínima e pluviosidade média mensal da região de Promissão - SP, com base em série histórica de 29 anos.

Fonte: Tempo Agora (2014).

## Solo

Na área experimental onde o experimento foi realizado, o solo é classificado como um Latossolo Vermelho mesotrófico de textura média (SANTOS et al., 2013), conforme mostrado na Figura 11.

Amostras de solo foram coletadas por tradagem até 100 cm de profundidade em três locais na área do experimento (Tabela 4). A textura predominante é franco-argilo-arenosa com teores de argila (exceção na camada 0-20 cm da tradagem B) variando entre 162 e 203 g kg<sup>-1</sup> na camada super-



**Figura 11.** Mapa de solos da região de Guaíçara, SP.  
 Fonte: IBGE (2006).

**Tabela 4:** Características físicas e químicas do solo na área experimental.

Prof. cm	Granulometria				A. grossa /A. fina	pH floculação água	Ca	Mg	K	S	Al	H	CTC	V	P assim.	
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argilla												cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>
Tradagem A (21°37'09.1" Sul, 49°49'57.7" Oeste)																
0-20	103	629	66	202	0,16	20	7,0	2,3	0,7	0,09	3,1	0	0	3,1	100	8
20-40	81	547	129	243	0,15	33	5,2	1,1	0,6	0,06	1,8	0,2	3,4	5,4	33	1
40-60	73	592	72	263	0,12	23	5,4	1,0	0,7	0,15	1,9	0,1	2,9	4,9	39	1
60-80	75	600	62	263	0,13	31	4,8	0,7		0,21	0,9	0,6	2,9	4,4	20	<1
80-100	65	594	78	263	0,11	100	4,6	0,3		0,11	0,4	0,9	2,7	4,0	10	<1
Tradagem B (21°37'17.4" Sul, 49°50'01.1" Oeste)																
0-20	99	629	110	162	0,16	12	7,4	4,7	1,6	0,13	6,5	0	0	6,5	100	121
20-40	91	632	74	203	0,14	10	7,6	3,0	1,3	0,18	4,5	0	0	4,5	100	23
40-60	73	610	74	243	0,12	16	7,7	2,5	1,3	0,09	3,9	0	0	3,9	100	5
60-80	81	589	66	264	0,14	16	7,3	2,0	1,2	0,14	3,3	0	0	3,3	100	2
80-100	65	601	70	264	0,11	23	7,1	1,8	1,0	0,15	3,0	0	0	3,0	100	1
Tradagem C (21°37'25.1" Sul, 49°50'03.5" Oeste)																
0-20	101	627	69	203	0,16	30	6,4	2,7	1,2	0,57	4,5	0	2,5	7,0	64	55
20-40	93	640	44	223	0,15	18	6,2	1,2	1,0	1,97	4,2	0	2,6	6,8	62	16
40-60	81	625	51	243	0,13	8	6,7	1,0	0,9	1,16	3,1	0	1,8	4,9	63	12
60-80	77	621	59	243	0,12	0	7,3	0,9	0,7	1,32	3,0	0	0	3,0	100	5
80-100	79	627	51	243	0,13	0	7,4	0,7	0,6	1,42	2,8	0	0	2,8	100	1

ficial a 243 a 264 g kg<sup>-1</sup> na profundidade de 80 a 100 cm. Predominância de areia fina (relação Areia Grossa/Areia Fina entre 0,11 e 0,16). Grau de Floculação (argila não dispersa) baixo mostra a fragilidade de agregação do solo. Complexo sortivo apresenta variações importantes entre as três tradagens sendo que a tradagem B apresenta os maiores teores de cátions (Ca, Mg e K) com saturação de bases (valor V) de 100 % (eutrófico). Teores médios de alumínio na tradagem A (caráter álico na camada 80-100 cm). Em geral, existe uma variação importante nas características químicas do solo a ser observada na interpretação dos resultados biométricos obtidos.

## **Relevo**

A região de Guaiçara, SP apresenta relevo plano à suavemente ondulado, classificado como Planalto do Rio Paraná, conforme mostrado na Figura 12.

## **Vegetação**

A vegetação original predominante na região de Guaiçara, SP é de mata atlântica, ou seja, estes ecossistemas ocorrem principalmente nas elevações mais altas e mais frias das serras interiores, como por exemplo, nas serras da Mantiqueira ou de Paranapiacaba; de acordo com IBGE (2006), tratam-se de Florestas Estacionais e são caracterizadas por um clima de duas estações, uma chuvosa e outra seca (diferente da floresta tropical). São denominadas semidecíduosas (semicaducifólias) /decíduosas (caducifólias) quando a porcentagem de árvores do conjunto florestal que perdem folhas na estação seca está entre 20% a 50% / acima de 50% (Figura 13). Similar às florestas tropicais, as florestas estacionais também podem ser divididas em subunidades mais finas, as chamadas faixas altitudinais (altomontana, montana, submontana, terras baixas e aluvial).

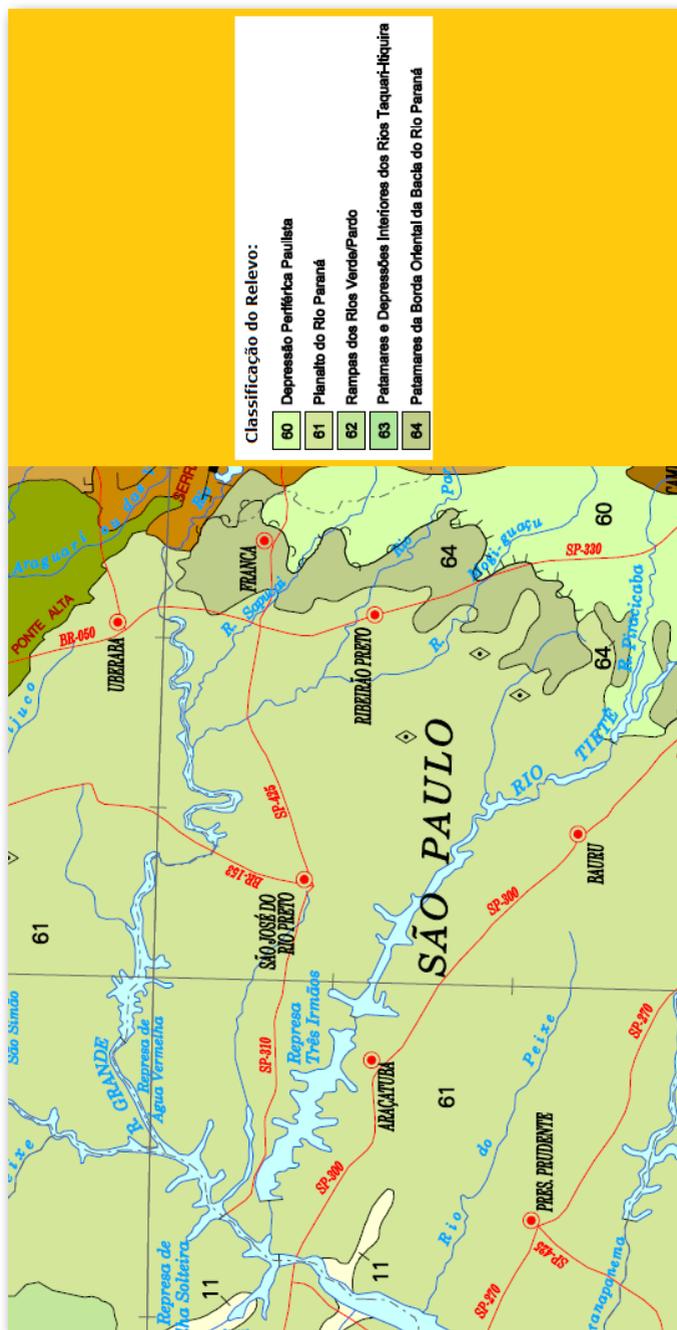
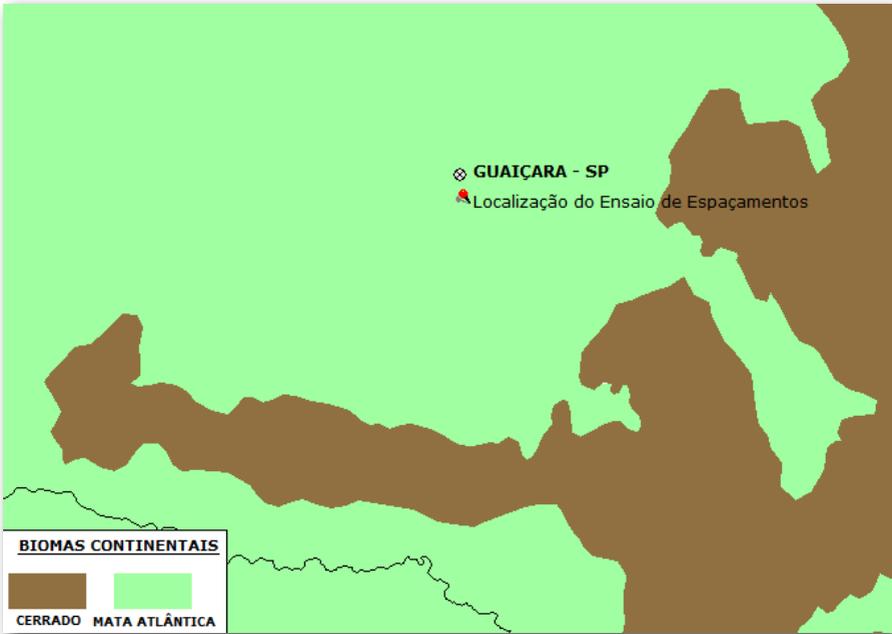


Figura 12. Relevo da região.

Fonte: IBGE (2006) .

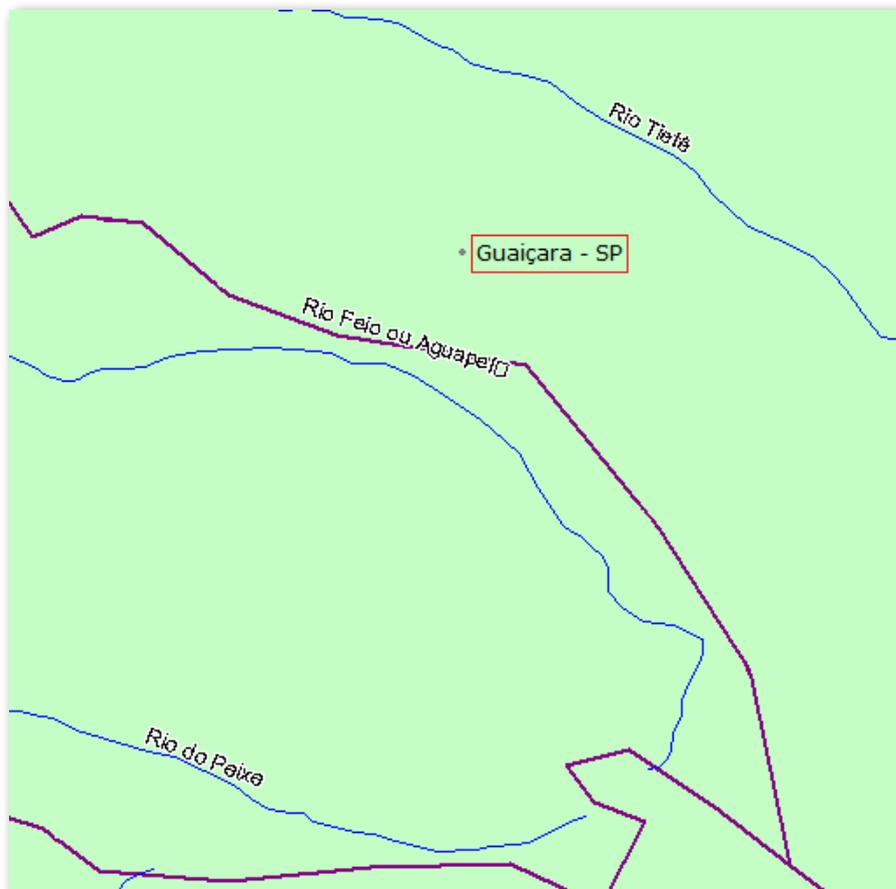


**Figura 13.** Mapa de biomas da região de Guaiçara, SP, onde se situa a Fazenda Nova Holanda (Ensaio de Espaçamentos).

Fonte: IBGE (2014).

## Hidrografia

Pela região de Guaíçara, SP passam os rio Feio ou Aguapeí e Dourado, entre outros, afluentes do Rio Tietê pela sua margem esquerda, a montante da Usina de Promissão. (Figura 14).



**Figura 14.** Mapa da região hidrográfica de Guaíçara, SP.

Fonte: Agência Nacional de Águas (2014).

## Características gerais do experimento

### Instalação, preparo e condução do experimento

A Tabela 5 resume todas as atividades executadas na área experimental, desde a instalação, preparo e condução do experimento de acordo com a sua data de realização.

**Tabela 5.** Cronograma de execução das atividades fitotécnicas no ensaio.

Atividade	Data
Preparo	15/11/2012
PPI Herbicida	15/11/2012
Plantio	27/12/2012
Herbicida	09/01/2013
1ª Avaliação na cana-planta (CP)	12/05/2013
2ª Avaliação na CP	19/06/2013
3ª Avaliação na CP	31/07/2013
4ª Avaliação na CP	15/10/2013
5ª Avaliação na CP (Colheita)	18/12/2013
1ª Avaliação na cana-soca (CS)	07/05/2014
2ª Avaliação na CS	08/07/2014
3ª Avaliação na CS	18/09/2014
4ª Avaliação na CS	12/11/2014
5ª Avaliação na CS (Colheita)	05/12/2014

### Preparo da área experimental

De acordo com a Tabela 5, no dia 15/11/2012 fez se o preparo convencional da área, onde foi realizado com ajuda do arado e dos seguintes maquinários:

- Trator Reboque Pesado (Valtra, Modelo Valtra BH 205i - 205CV).
- Trator Reboque Leve (Valtra, Modelo Valtra BM110 4X4 - 110CV).
- Arado de discos (Tatu, Modelo AST).
- Grade Intermediária (Tatu, Modelo GAIM).
- Grade Niveladora (Baldan, Modelo Baldan NV).

- Sulcador (modelo IAA-PLANALSUCAR -1978).
- Rolos destorroadores adaptados no sulcador para nivelar o fundo sulco.

### **Aplicação de herbicidas**

No mesmo dia e após a etapa de preparo da terra, foi realizada a etapa de aplicação de herbicidas, onde foram aplicados:

- Herbicida ppi - gamit star 1,3 L/hectare.
- Boral 1,0 L/hectare.
- Tensor plus 0,15 L/hectare.

### **Plantio**

O plantio ocorreu no dia 27 de dezembro de 2012, conforme recomendações da equipe técnica da Usina Madhu - Grupo Renuka do Brasil S/A, onde foram realizadas a abertura dos sulcos e a distribuição do adubo, onde este foi realizado de forma mecanizada às operações de plantio e tratos culturais da lavoura, com três plantadoras diferentes para atender os diferentes tipos de espaçamentos, segue abaixo os maquinários utilizados no plantio:

- Plantadora (DMB, Modelo PCP 6000) - Plantio Convencional 1,5 m.
- Plantadora (DMB, Modelo PCP 6000) - adaptada pela oficina da usina RENUKA para plantio Base Larga.
- Plantadora (2 sulcos de 0,90m) Sulco Duplo Alternado (DMB, Modelo PCP 6000) - adaptada pela oficina da usina RENUKA.
- Plantadora 1 sulco Base Larga (1,80 m e 2,00 m) - adaptada pela oficina da usina RENUKA.
- Transbordo para abastecimento de mudas (Valtra, Modelo Valtra BH180 4x4 - 180CV).

- Trator Reboque Pesado (Massey Ferguson, Modelo MF 7415 - 215CV).
- Trator Reboque Médio (Valtra, Modelo Valtra BH 165 4x4 - 165CV).
- Caminhão Bazooka abastecimento de adubo (Stara, Modelo Kanudo 1250).
- Caminhão tanque abastecimento inseticida/nematicida (Volkswagem, Modelo Vw 26.260 Tanque - 260CV).

Foram aplicados junto ao plantio:

- Adubo NPK 5-25-25 (500 kg/ha).
- Inseticida Regente 800 g/ ha.
- Nematicida Furadan (6 L/ ha).
- Fungicida Piori Xtra (2L/ ha).

### **Tratos culturais**

Como trato cultural, o herbicida foi aplicado no dia 09/01/2013 com o auxílio dos seguintes equipamentos e maquinários:

- Pulverizadora automotriz (Montana, Modelo Parruda 2027 H - 135CV).
- Caminhão tanque abastecimento herbicida (Volkswagen, Modelo Vw 26.260 Tanque - 260CV).

Sendo aplicados os seguintes herbicidas:

- Tebutirom (Herbicida seletivo de ação sistêmica. Marca comercial: COMBINE 500SC (@Dow AgroScience) 900 g i.a. ha<sup>-1</sup> (1,8 L produto comercial ha<sup>-1</sup>).
- S-metolaclo (Herbicida residual de ação sistêmica - grupo:

Cloroacetamida). Marca Comercial: DUAL GOLD (®Syngenta). Dose: 2 400 g i.a. ha<sup>-1</sup> (2,5 L de produto comercial ha<sup>-1</sup>).

- Ametrina (Herbicida Seletivo de ação sistêmica, Grupo: Triazinas). Marca Comercial: METRIMEX 500SC (®Sipcam UPL Brasil). Dose: 1 500 g i.a. ha<sup>-1</sup> (3,0 L de produto comercial ha<sup>-1</sup>).
- Picloram + 2,4 D (Herbicida seletivo de ação sistêmica, Grupos: ácido piridincarboxílico e ácido ariloxialcanóico, respectivamente). Marca comercial: DONTOR (®Dow AgroSciences). Dose do produto comercial: 1,5 L ha<sup>-1</sup>.
- Adesivo Espalhante Tensor Plus 0,15 L/ha.

## Colheita

No dia 18/12/2013 foi realizada a colheita mecanizada da cana-de-açúcar por colhedora automotriz adaptada para atender aos diferentes tipos de espaçamentos, sendo:

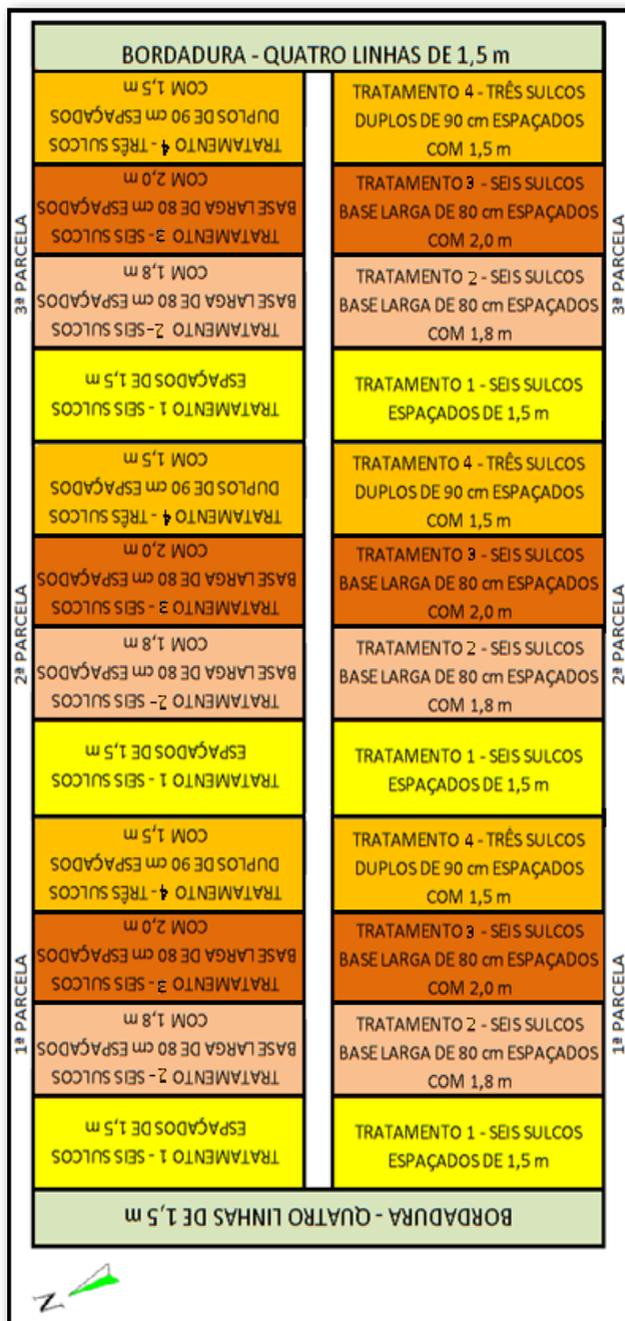
- Colhedora (Case, Modelo Case A8800 - 358 cv).
- Transbordo com célula de carga (Valtra, Modelo Valtra BH180 4x4 - 180 cv).
- Caminhão Rodotrem (Scania, Modelo Scania G470 A 6x4 - 470 cv).

## Delineamento experimental

A área do experimento foi dividida em 2 grandes blocos (A,B) ao acaso de 3,505 ha cada, cada bloco é subdividido em 3 subblocos sorteadas com 4 tratamentos cada (T1,T2,T3 e T4), sendo no total de 6 parcelas ou seja, teríamos 6 repetições para cada tratamento. Cada parcela possui 6 linhas de plantio com 20 m de comprimento cada e de largura variável, que permitem caracterizados pelo tipo de preparo. Conforme a Tabela 6 é possível visualizar as descrições dos tratamentos e na Figura 15 as divisões da área experimental fica mais visível.

**Tabela 6.** Tratamentos com mudas MPB para o experimento instalado em Guaíçara, SP no ano de 2012.

Tratamento	Tipo	Variedade utilizada	Espaçamento (m)	Repetições	Descrição	Preparo do solo
T1	Convencional	CTC 15	1,5 m x 1,5 m	6 sulcos espaçados por 1,5 m	Linha simples	Convencional
T2	Base larga	CTC 15	0,8 m x 1,8 m	6 sulcos base larga de 0,80 m espaçados por 1,8 m	Linha dupla - base larga	Convencional
T3	Base larga	CTC 15	0,8 m x 2,0 m	6 sulcos base larga de 0,8 m espaçados por 2,0 m	Linha dupla - base larga	Convencional
T4	Duplo alternado	CTC 15	1,5 m x 0,9 m	33 sulcos duplos de 0,9 m espaçados por 1,5 m	Linha dupla	Convencional



**Figura 15.** Divisão da área por blocos (4 tipos de tratamento e 6 repetições).

Cada bordadura (duas no total) da área experimental possui quatro linhas com 1,50 m de largura a partir do carreador e cada tratamento de 20 m de comprimento acompanhando a linha de plantio.

### **Características da cultivar de cana-de-açúcar**

As mudas utilizadas no plantio das áreas experimentais foram mudas de 8 meses de idade, provenientes da variedade CTC 15, planta média/tardia com alta tolerância à seca e rústica, indicada para solos fracos. Esta variedade tem destaque em diversos locais e ambientes de produção e possui multiplicação acelerada.

### **Avaliações**

Foram realizadas cinco avaliações de acordo com a Tabela 4, sendo a última no dia da colheita. Para cada avaliação, ao longo da cana-planta e soca foram adotados os seguintes critérios:

1. Foram utilizadas e avaliadas somente as quatro linhas centrais, sendo consideradas como bordadura as quatro linhas laterais de cada unidade experimental.
2. Foram avaliadas as ruas laterais do experimento, retirando-se a cana a partir de 50 passos do carreador, em seguida.
3. Foi realizada a contagem de perfilhos em 2 metros em cada linha útil,
4. Houve a pesagem de 10 canas (10 com palha, 10 sem palmito, e 10 sem palha e palmito).
5. Medição do diâmetro médio dos colmos em um metro linear.
6. Medição da altura da cana (do solo até o primeiro dewlap visível).
7. Depois 10 canas foram separadas por parcela e identificadas para pré-análises na Usina a fim de se obter os valores de Pcc, Brix, Fibra, Pbu e ATR (CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2006) .

8. Foram retiradas coletas de cerca de 20 folhas e mais colmos desfibrado por parcela, foram secos a peso constante à 68 °C e enviadas para a análise de tecido para determinação dos teores de N, P e K nos laboratórios da Embrapa Solos, no Rio de Janeiro.

## **Morfologia da planta**

As análises de morfologia da planta seguiram a metodologia proposta por Rodrigues (1995).

## **Perfilhamento da cana-de-açúcar**

O perfilhamento foi avaliado quando a cultura completou 4 meses de idade, época em que o perfilhamento se encerra, conforme Rodrigues (1995) e após 4 meses da colheita. A contagem foi realizada no espaço de 2,0 m dentro de cada experimento, totalizando 6 repetições por tratamento.

## **Diâmetro e altura da planta**

O diâmetro do colmo da cana-de-açúcar foi medido na altura da primeira folha lígula visível a partir do solo (*Top Visible Dewlap* - TVD). O crescimento da planta e o diâmetro do colmo foram avaliados juntamente com o perfilhamento, medição em 10 plantas por tratamento.

## **Produtividade**

A biometria do experimento foi realizada em cinco épocas até no dia 18/12/2013 (colheita da cana-planta) e 5/12/2014 (colheita da cana-soca). Na amostragem final nas canas colhidas, pesou-se somente as duas ruas centrais de cada parcela pois o transbordo célula de carga demanda muito tempo para aferir cada enchimento de cana no esteiro do elevador da colhedora, totalizando distintos metros lineares em função do espaçamento. Nesta avaliação foram pesadas as seguintes partes da planta: ponteira, palha e colmo, separadamente.

## **Análises tecnológicas**

Para análise dessa avaliação e de seus respectivos efeitos na produtividade e longevidade do canavial, foram feitas análises tecnológicas das amostras de colmos, que foram coletados nas colheitas da cana-planta e

da soca, sendo realizadas as análises em laboratório da qualidade agrotecnológicas e posteriores análises estatísticas

As análises agrotecnológicas foram realizadas em dois locais, ou seja, parte realizada parte pela própria Usina Madhu - Grupo Renuka do Brasil S/A (Brix, pol, Fibra da Cana) e outra parte pela Embrapa Solos (Rio de Janeiro) para fins de exportação de nutrientes.

As análises em pré-colheita têm por finalidade determinar a maturação das variedades procurando utilizar racionalmente o potencial de cada uma delas, objetivando o rendimento máximo em açúcar e etanol.

As análises em pós-colheita têm por objetivo a comprovação da qualidade constatada nos primeiros resultados obtida na pré-colheita, procurando administrar do melhor modo possível a matéria prima que entra na indústria. Os resultados obtidos na pós-colheita podem indicar a se há ocorrência de deteriorações fisiológica, microbiológica e tecnológica.

Quando a análise é feita do início ao meio da safra, os resultados obtidos devem ser maiores ou iguais aos da pré-colheita não excedendo 10 dias entre as coletas. A partir de setembro, a confrontação dos resultados de pré e pós-colheita deve indicar a mesma qualidade da matéria-prima ou um ligeiro declínio.

Para a determinação de valores de Pol, Brix, AR, Pureza, Fibra, Umidade, ATR e Produtividade da Cana-de-Açúcar, foi utilizado o Manual de Instruções do Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (2006), conforme são descritos abaixo:

- Pol cana

Representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares. Para o caldo de cana madura o teor de glicose e frutose é geralmente baixo, menor do que 0,5%, comparado ao teor de sacarose, que pode estar acima de 16 %, na média da safra, fazendo com que seu valor se aproxime bastante do teor real de sacarose, sendo normalmente aceito como tal. A sacarose, um dissacarídeo, é o principal parâmetro de

qualidade tecnológica da cana-de-açúcar; refere-se ao açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação.

Pol% cana (PC): foi calculada através da seguinte expressão:

$$PC = S \times (1 - 0,01 F) \times C \quad (1)$$

onde:

S = Pol do Caldo extraído

F = Fibra industrial % cana

C = fator de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto.

A pol do caldo (S) (teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo) é calculada pela equação seguinte:

$$S = LPb (0,2605 - 0,0009882 \times B) \quad (2)$$

A transformação da leitura sacarimétrica com a mistura clarificante, à base de alumínio, para a leitura equivalente em subacetato de chumbo ou (octapol), será feita pela equação:

$$LPb = 1,00621 \times LAI + 0,05117 \quad (3)$$

onde:

LPb = leitura sacarimétrica equivalente a de subacetato de chumbo;

LAI = leitura sacarimétrica obtida com a mistura clarificante à base de alumínio.

Assim sendo, a equação completa para o cálculo da pol da cana (S) passa a ser a seguinte:

$$S = (1,00621 \times LAI + 0,05117) \times (0,2605 - 0,0009882 \times B) \quad (4)$$

onde:

B = Brix do caldo

- Brix% caldo

O Brix% caldo é determinado por refratometria a 20 °C.

- Açúcares redutores (AR)

Os açúcares redutores (AR) referem-se ao termo utilizado para designar os açúcares (monossacarídeos), glicose e frutose, principalmente. Os açúcares redutores são produtos precursores de cor no processo industrial, isto é, participam de reações que aumentam a cor do açúcar, depreciando a qualidade do produto. Durante a maturação da cana-de-açúcar, à medida que o teor de sacarose se eleva os açúcares redutores decrescem de aproximadamente 2,0% para valores abaixo de 0,5%, entre março/abril e setembro/outubro no Hemisfério Sul, podendo chegar a 0,2%. Esse comportamento torna importante a análise do teor de açúcares redutores para acompanhamento e julgamento da maturação, principalmente nos primeiros meses de safra.

Açúcares Redutores % cana (AR): determinado pela Técnica de Somogy (SILVA et al., 2003).

- Pureza aparente

A pureza reflete a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis, sendo denominada “pureza real”, entretanto quando esta determinação é realizada numa solução açucarada impura, diz-se “pureza aparente”. A pureza expressa quantos por cento dos sólidos solúveis (°Brix) são representados pela sacarose (pol).

Pureza aparente da cana (%): o coeficiente de pureza aparente da cana, segundo Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (2006), foi calculado pela relação:

$$\text{Pureza aparente \% da cana} = \text{Pol\% cana} \times 100 \text{ Brix\% cana} \quad (5)$$

- Fibra da cana

A fibra é a matéria insolúvel em água contida na cana. No colmo de cana, as fibras do parênquima são de estrutura mais frágil e fina, e formam as células isodiamétricas de estocagem do caldo de alto teor de sacarose. No sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose (PCTS) a fibra é estimada em função do peso de bagaço úmido da prensa. Determinada pelo método da prensa hidráulica, conforme determinado no Ato 13/83, de 21/04/1983 - IAA e atualizações semestrais da Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (2006).

$$F = 0,08 * PBU + 0,876 \quad (6)$$

onde:

F é a Fibra cana e PBU refere-se ao peso do bagaço úmido da prensa, em gramas.

Fibra % cana: determinado segundo Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (2006).

- Umidade % cana

Foi determinada da diferença de pesagens do bolo úmido (Pmu) e seco após secagem (Pms) que, foi colocado em sacos de papel seco, descontando a tara, levado para uma estufa a 65 °C, por 48 horas, para secagem, ate o peso constante. A seguir, pesou-se novamente, descontando a tara. A umidade foi calculada da seguinte forma:

$$U\% = (Pmu - Pms) \times 100/Pmu \quad (7)$$

onde:

U% = umidade em porcentagem

Pmu = peso da massa úmida já descontada o peso do saco

Pms = peso da massa seca já descontado o peso do saco

- Açúcar Teórico Recuperável (ATR)

O Açúcar Teórico Recuperável (ATR) constitui um cálculo considerando-se os parâmetros do sistema de pagamento de cana implantado em São

Paulo a partir da safra de 1998/99, e reflete o resultado da diferença entre Açúcares Redutores Totais (ART) da cana e as perdas na lavagem de cana, no bagaço final, na torta do filtro ou prensa e as “indeterminadas”, considerando a eficiência média padrão, ou seja, representa a quantidade de açúcares (na forma de açúcares invertidos ou ART) que são recuperados na usina assumindo perdas de 12% na lavagem de cana, extração (perda de pol no bagaço final), torta dos filtros ou prensas e as “indeterminadas”.

AATR (kg t colmos): calculado pelo SPCTS atual, aprovado pelo Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (2006).

- Análise de produtividade

A condição pré-colheita onde a produtividade de cana e de qualidade para ter rentabilidade em açúcar foi medida por: toneladas de colmos por hectare (TCH); Ton. de açúcar total recuperado por hectare (TAH)-(açúcar recuperado ou extraído) obtido através da seguinte equação:  $TAH=TCH*ATR/100$ ; tonelada de açúcar por hectare (TPol/há), obtido através da equação: produtividade (TCH real)\*Pol da cana; e ATR e Pol por hectare na cana-planta e na soca.

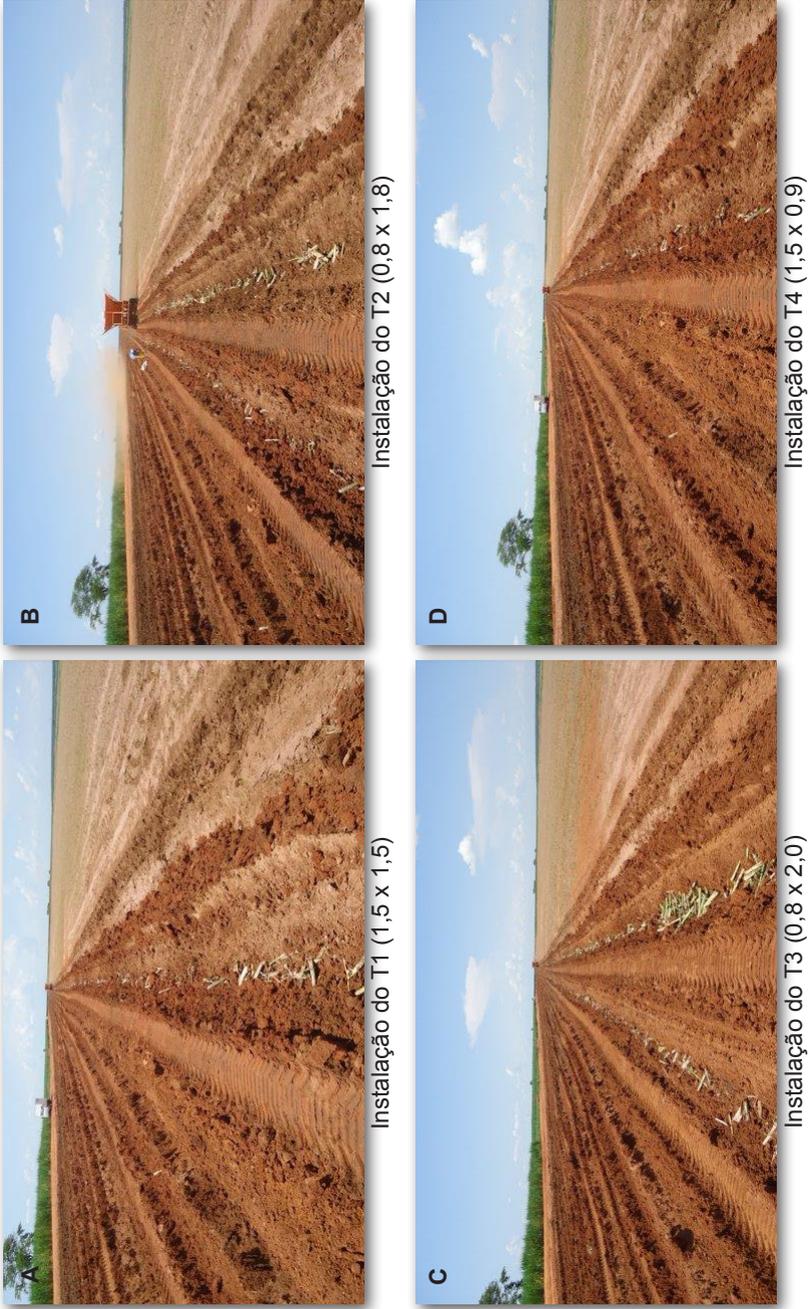
- Análise de exportação

As amostras de colmos desfibrados e de folhas foram secas à 65 °C e moídas. As análises de macronutrientes foram realizadas na Embrapa Solos - RJ, de acordo com os métodos descritos por Silva (2009).

## **Resultados e discussão**

### **Dados obtidos no campo ao longo da safra**

A sequência das Figuras (16, 17, 18, 19 e 20) apresentam as imagens que foram coletadas no campo no decorrer do experimento, em diferentes estágios de crescimento da cana-planta.



**Figura 16.** Instalação do experimento com os tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaíçara, SP no ano de 2012.



15 dias após plantio do T1 (1,5 x 1,5)



15 dias após plantio do T2 (0,8 x 1,8)



15 dias após plantio do T3 (0,8 x 2,0)



15 dias após plantio do T4(1,5 x 0,9)

**Figura 17.** Desenvolvimento da cana-planta, aos 15 dias após o plantio, nos diferentes tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaíçara, SP no ano de 2013.



48 dias após plantio do T2 (0,8 x 1,8)



48 dias após plantio do T4(1,5 x 0,9)



48 dias após plantio do T1 (1,5 x 1,5)



48 dias após plantio do T3 (0,8 x 2,0)

**Figura 18.** Desenvolvimento da cana-planta, aos 48 dias após o plantio, nos diferentes tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaíçara, SP no ano de 2013.



48 dias após plantio do T1 (1,5 x 1,5)



48 dias após plantio do T2 (0,8 x 1,8)

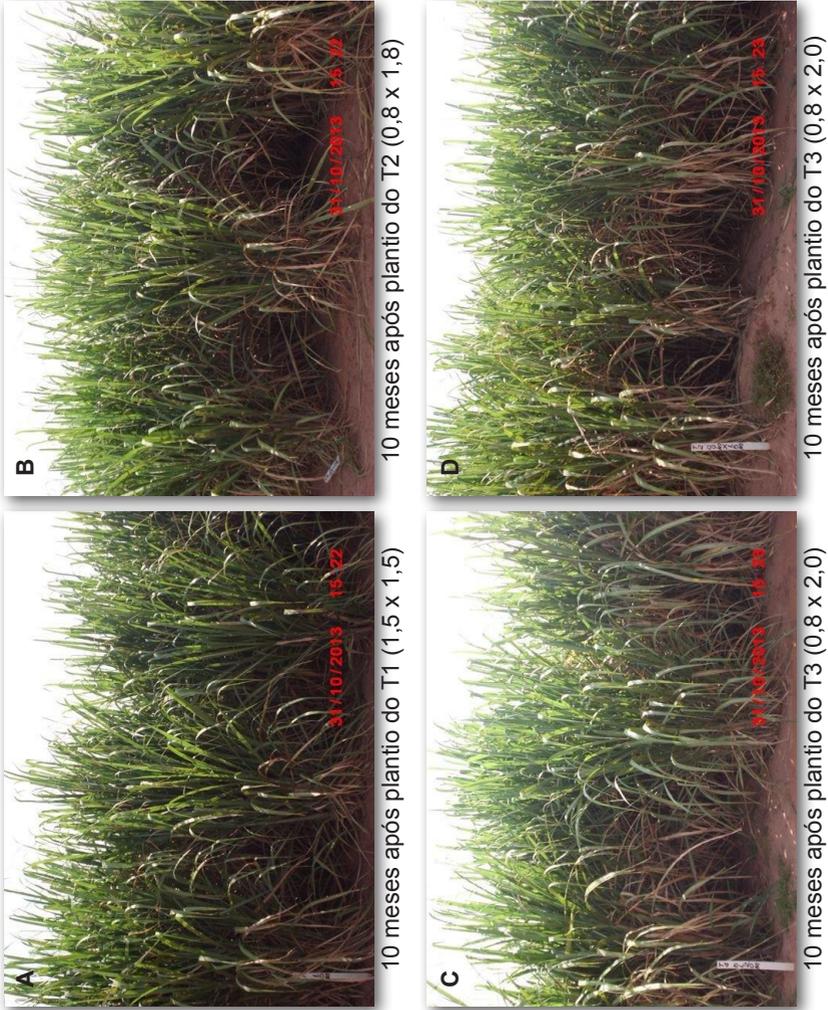


48 dias após plantio do T3 (0,8 x 2,0)



48 dias após plantio do T4(1,5 x 0,9)

**Figura 19** . Desenvolvimento da cana-planta, aos 100 dias após o plantio, nos diferentes tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaíçara, SP no ano de 2013.



**Figura 20.** Desenvolvimento da cana-planta, aos 10 meses após o plantio, nos diferentes tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaíçara, SP no ano de 2013.

A Figura 16 mostra a etapa de instalação do experimento onde ocorreu a fase de plantio das mudas de cana (variedade CTC 15) no dia 27/12/2012 onde podemos observar de acordo com as legendas das imagens, os 4 tipos de espaçamentos que foram implantados.

Na Figura 17 mostra o desenvolvimento da cana-de-açúcar após 15 dias do plantio, onde é possível observar de acordo com as legendas das imagens, os diferentes tipos de espaçamentos que foram implantados.

Na Figura 18 observa-se que o desenvolvimento da cana-de-açúcar após 48 dias do plantio, onde é possível observar de acordo com as legendas das imagens, os 4 tipos de espaçamentos que foram implantados.

Na Figura 19 observa-se que o desenvolvimento da cana-de-açúcar após 100 dias do plantio, onde é possível observar de acordo com as legendas das imagens, os 4 tipos de espaçamentos que foram implantados.

Na Figura 20 mostra o desenvolvimento da cana-de-açúcar após 10 meses do plantio, onde é possível observar de acordo com as legendas das imagens, os 4 tipos de espaçamentos que foram implantados.

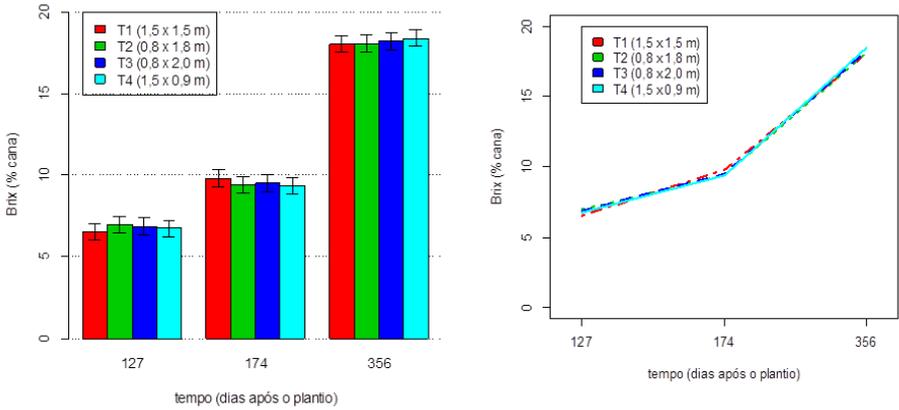
## **Análises estatísticas**

Foram realizados os Testes de Tukey para contraste de média entre os tratamentos, com a ajuda do software R.

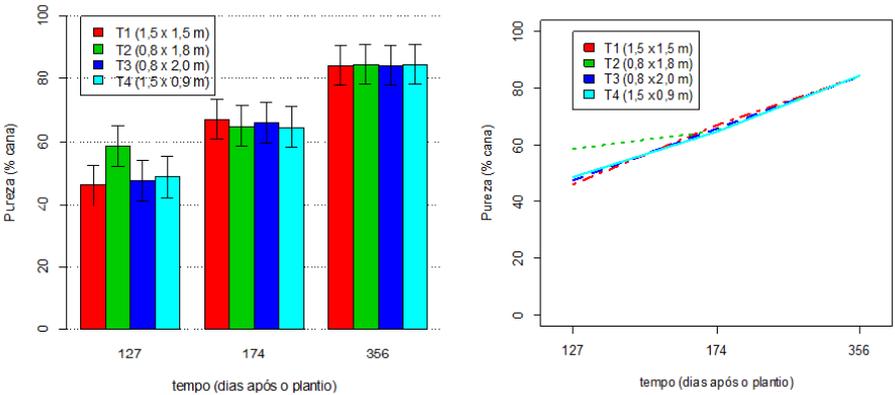
Para se fazer uma comparação dos dados de (Brix, Pureza, Pol, Fibra e ATR) em três fases do experimento início de safra (127 dias), meio (174 dias) e fim (356 dias), foram realizados ajustes de médias dos valores, e os resultados obtidos podem ser visualizados nas Figuras 21, 22, 23, 24 e 25.

Os ajustes foram feitos por regressão polinomial com o objetivo de se obter uma comparação entre as variáveis estudadas em relação à safra.

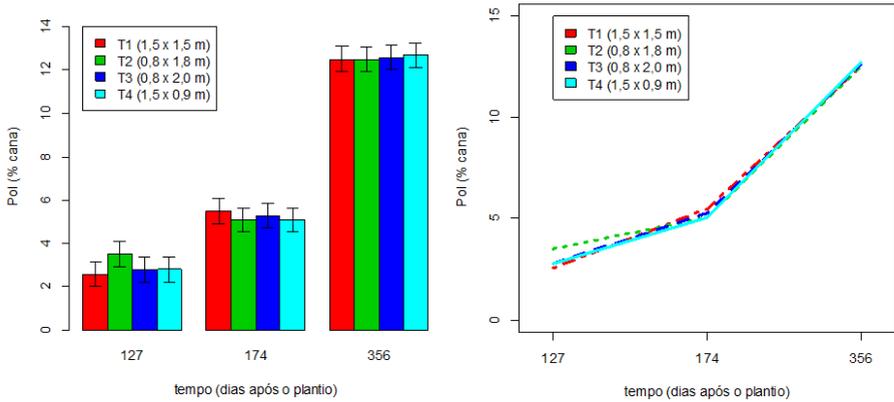
Na Figura 21 apresenta o ajuste das médias dos valores de Brix (%) com relação ao tempo de acordo com cada tratamento estudado (T1, T2, T3



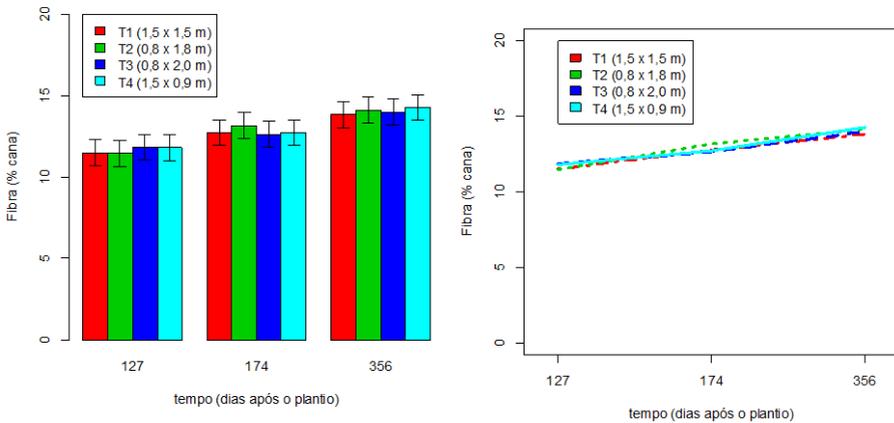
**Figura 21.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) no Brix da cana, no decorrer da safra.



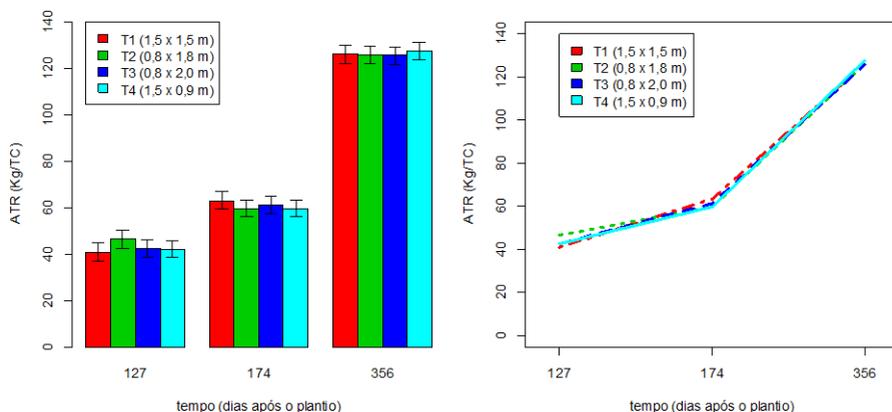
**Figura 22.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) na pureza da cana, no decorrer da safra.



**Figura 23.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) no Pol da cana, no decorrer da safra.



**Figura 24.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) na Fibra da cana, no decorrer da safra.



**Figura 25.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) no ATR da cana, no decorrer da safra.

e T4). Podemos concluir com esta análise que os 4 tipos de tratamento tenderam a não apresentar diferenças significativas durante a safra da cana-de-açúcar.

De acordo com Ripoli et al. (2004), quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade de matéria-prima para se recuperar açúcar.

Na Figura 22 apresenta o ajuste de médias dos valores de Pureza (%) com relação ao tempo de acordo com cada tratamento estudado (T1, T2, T3 e T4). Podemos perceber com esta análise que os 4 tipos de tratamento tenderam a apresentar no início da safra uma diferença significativa apenas para o Tratamento 2. O arranjo experimental não sofreu influência para os valores de Pureza nas demais épocas, portanto, os diferentes tratamentos possuem uma boa qualidade de matéria prima a ser recuperada.

Conforme descrito no Manual do Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (2006), vemos que o Pol é uma variável que mede a porcentagem de sacarose obtida em uma solução açucarada.

Na Figura 23 apresenta o ajuste de médias dos valores de Pol (%) com relação ao tempo de acordo com cada tratamento estudado (T1, T2, T3 e T4). Podemos verificar por meio de ajuste que no início da safra (127 dias)

o T2 tendeu a ter um aumento significativo em relação aos demais tratamentos.

Segundo Ripoli et al. (2004), para a indústria canavieira, quanto mais elevados os teores de sacarose, melhor. Neste caso, todos os tratamentos tenderam a apresentar bons resultados para a safra analisada.

Na Figura 24 apresenta o ajuste de média dos dados de Fibra com relação ao tempo de acordo com cada tratamento estudado (T1, T2, T3 e T4). Com esta análise, podemos perceber com esta análise que não houve diferenças significativas em relação a fibra para os diferentes tipos de tratamentos.

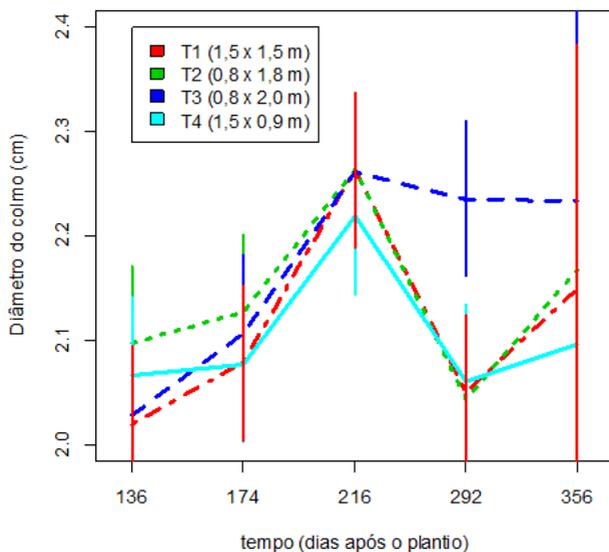
De acordo com Ripoli et al. (2004), quanto maior a quantidade de fibra na cana, menor será a eficiência de extração do caldo na moenda. Portanto, os tratamentos tenderam a não apresentar menor eficiência nas moendas.

Na Figura 25 apresenta o ajuste de média dos valores de ATR com relação ao tempo de acordo com cada tratamento estudado (T1, T2, T3 e T4). Os valores de ATR nesta análise, no início da safra foram significativos para o Tratamento 2, e nas demais épocas, os diferentes tratamentos não tenderam a apresentar valores significativos.

Os testes de Tukey foram realizados nas cinco avaliações para as variáveis (diâmetro dos colmos e altura da cana), seus resultados são apresentados graficamente na Figura 26 e Tabela 7.

De acordo com análise estatística, pode se perceber na Figura 26 que os valores referentes ao Diâmetro dos colmos foram significativos para o tratamento T2 na quarta avaliação (292 dias) em relação aos demais tratamentos.

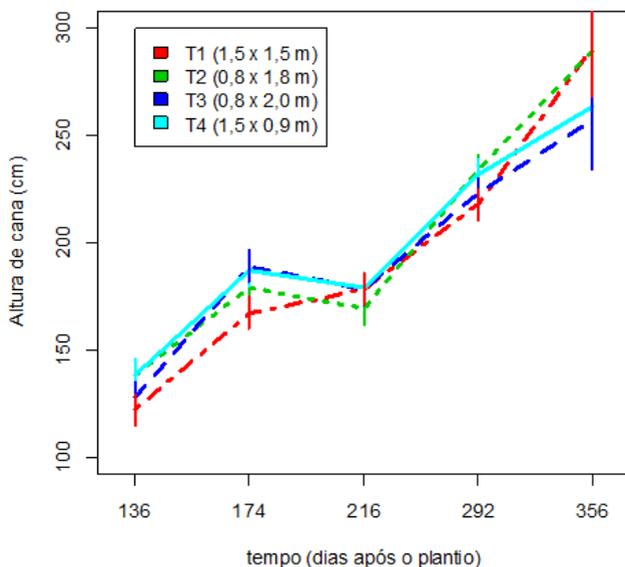
De acordo com a análise estatística, pode-se perceber graficamente na Figura 27 que os valores referentes a Altura da cana foram significativos para o T1 na primeira e na segunda avaliação (174 dias) e para T2 na quarta avaliação (292 dias).



**Figura 26** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) no diâmetro no colmo de cana, no decorrer da safra.

**Tabela 7.** Resultados obtidos em dezembro de 2013 - no primeiro corte na cana-planta.

Análise variância Tukey a 5%	TCH (t. cana.ha <sup>-1</sup> )	Perfilhos/ m (n°)	Diâmetro colmos (cm)	Altura colmo (m)	Peso colmos (kg)	Perdas campo (t. cana.ha <sup>-1</sup> )
Sulcos simples (1,50 m)	102,15 a	13,70 b	2,15 a	2,91 a	1,58 a	3,75 a
D. alt. (0,90 m x 1,50 m)	92,52 a	29,67 a	2,09 a	2,68 a	1,38 a	5,62 a
Base larga (1,80 m)	97,35 a	12,73 b	2,17 a	2,89 a	1,50 a	2,97 a
Base larga(2,00 m)	104,70 a	14,40 b	2,23 a	2,57 a	1,52 a	2,54 a
GI resíduo	19	19	19	19	19	19
F tratamentos	2,97	79,76**	0,72	1,96	1,5	1,55
Média geral	99,18	17,63	2,16	2,76	1,5	3,72
Desvio padrão	7,65	2,22	0,17	0,29	0,17	2,67
DMS 5%	12,42	3,6	0,28	0,47	0,28	4,34
CV %	7,71	12,59	7,98	0,46	11,51	71,95

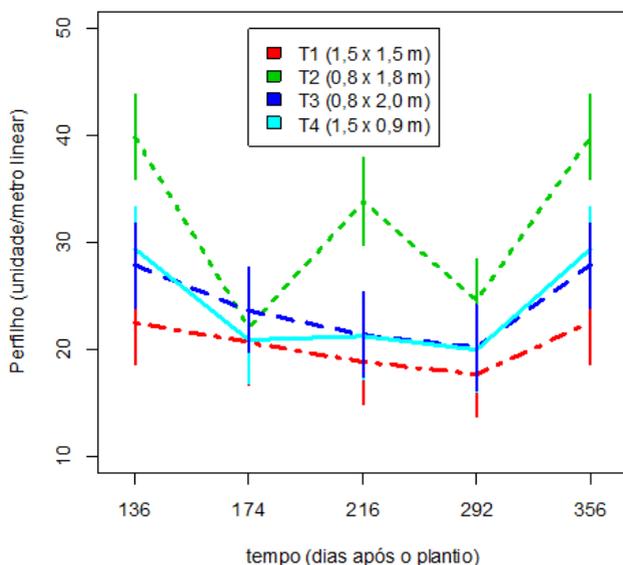


**Figura 27.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) na altura da cana, no decorrer da safra.

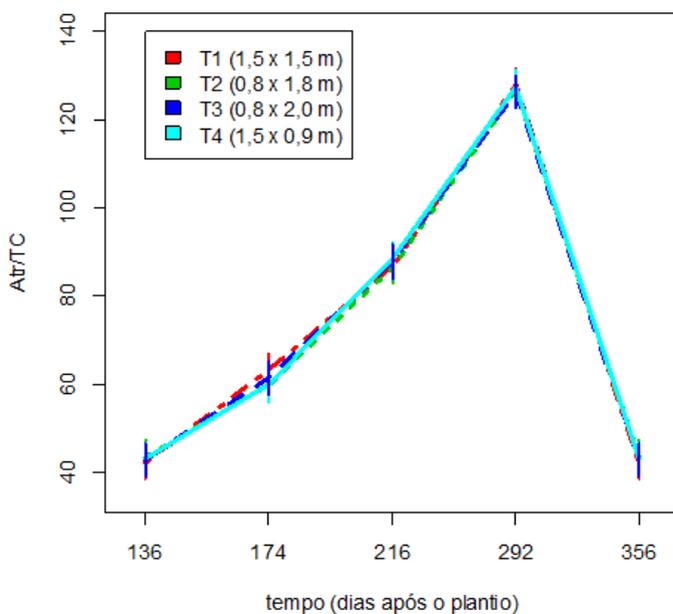
De acordo com a análise estatística, pode-se perceber na Figura 28 que os valores referentes aos Perfilhos da cana foram significativos para o T2 na primeira, terceira, quarta e quinta avaliação (136, 216, 292 e 356 dias).

De acordo com a análise estatística, pode-se perceber na Figura 29 que os valores referentes aos Açúcares Redutores Totais (ATR) não tiveram variância significativa ao longo da safra quando se compara aos tipos de tratamentos.

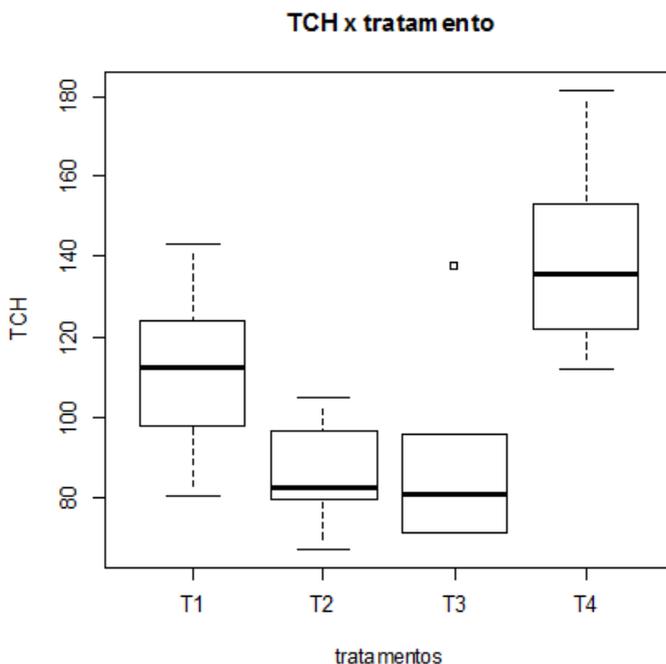
Na Figura 30, o Boxplot é um teste estatístico utilizado, ou seja, são análises exploratórias (visuais) para dizer algo sobre os dados de maneira subjetiva. No Boxplot, é possível comparar os valores observados, quanto aos valores máximos, mínimos, dispersão e média. Foi possível observar as medidas descritivas dos dados referentes a TCH nas cinco avaliações. E observa-se que há variabilidade dentro dos tratamentos, o que pode ser associado a uma variação de disponibilidade hídrica no solo em função de sua variação entre os blocos A e B. Conclui-se que há variabilidade na variável TCH nos diferentes tratamentos analisados.



**Figura 28.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) no perfilhamento de cana, no decorrer da safra.



**Figura 29.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) no ATR da cana, no decorrer da safra.



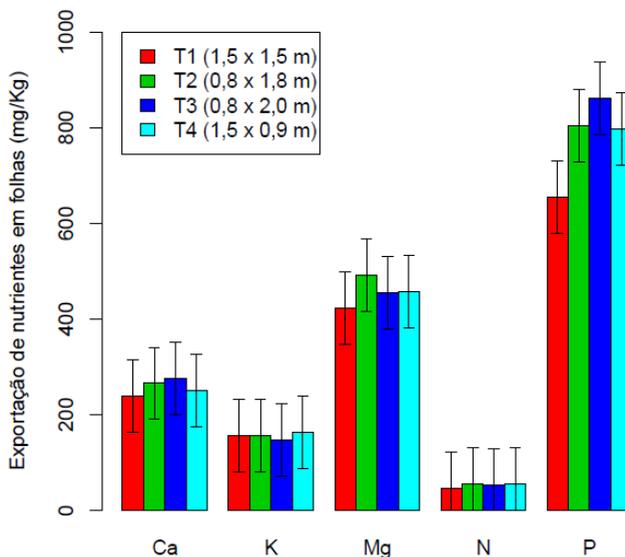
**Figura 30.** Avaliação do Boxplot para variável TCH medido em relação aos tratamentos (T1=1,5x1,5; T2=0,8x1,5; T3=0,8x2,0 e T4=1,5x0,9).

Para a comparação da extração de nutrientes em folha e em colmos em relação ao tipo de tratamento, foram elaborados nas Figuras 30 e 31, de acordo com os dados observados apenas na 5ª avaliação (356 dias após o plantio). Vale ressaltar que o ensaio está instalado em transição de solo, o que pode levar a certa variabilidade dos resultados.

Na Figura 31 é possível observar que a extração de nutrientes e alocação na parte aérea da cana-planta apresentaram, em média, valores de:

T1 (1,5 x 1,5 m) → 1.431, 938,6, 2.538, 276,1 e 3.926 mg/kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K, Mg, N e P

T2 (0,8 x 1,8 m) → 1592, 934,8, 2.945, 324,7 e 4.827 mg/kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K, Mg, N e P



**Figura 31.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) nos nutrientes exportados pelas folhas da cana, na colheita.

T3 (0,8 x 2,0 m) → 1.654, 877,2, 2.731, 315,1 e 5.175 mg/kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K, Mg, N e P

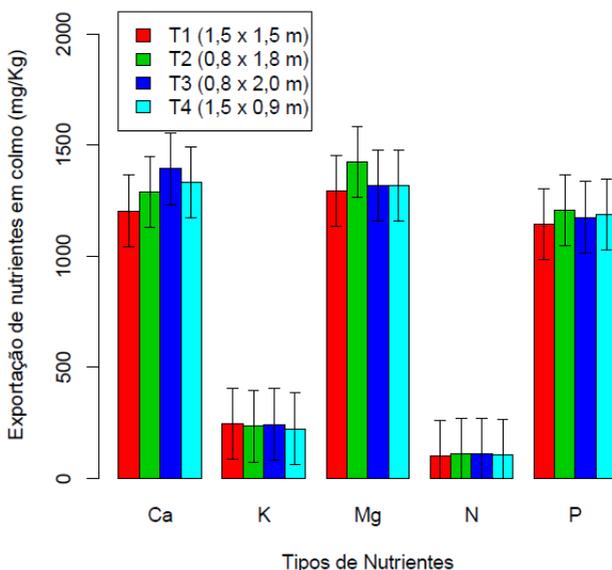
T4 (1,5 x 0,9 m) → 1.499, 982,8, 2.748, 327,9 e 4.778 mg/kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K, Mg, N e P

respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: P > Mg > Ca > K > N. Com esta análise, percebeu-se que o T3 tende a extrair maiores quantidades de nutrientes comparado aos demais tratamentos.

Na Figura 32 é possível observar que a extração de nutrientes e alocação em colmos da cana-planta apresentaram, em média, valores de:

T1 (1,5 m x 1,5 m) → 7.221, 1482,2, 7.758, 614 e 6.857 mg/kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K, Mg, N e P

T2 (0,8 m x 1,8 m) → 7.733, 1.406,4, 8.535, 665 e 7.243 mg/kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K, Mg, N e P



**Figura 32.** Influência do espaçamento de plantas (tratamentos) nas exportações de nutrientes nos colmos de cana, na colheita.

T3 (0,8 m x 2,0 m) → 8.352, 1.458, 7.911, 654 e 7.046 mg/kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K, Mg, N e P

T4 (1,5 m x 0,9 m) → 7.987, 1.344, 7.905, 640 e 7.113 mg/kg ha<sup>-1</sup> de Ca, K, Mg, N e P, respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: Mg > Ca > P > K > N

Com esta análise, percebeu-se que o T2 tende a extrair maiores quantidades de nutrientes comparado aos demais tratamentos.

Na Tabela 7 se encontram os resultados obtidos pelas análises de variância, e foi comentado por tópicos de acordo com sua importância.

De acordo com a Tabela 7 em relação a produtividade da cana-de-açúcar, os valores apresentados não apresentaram diferença estatística de acordo com a metodologia utilizada. Os resultados de produtividade encontrados nesta foram maiores que a média para o estado de São Paulo (74.714 kg/ha-1 safra 2012/2013) (CONAB, 2014).

Para a questão do perfilhamento da cana-de-açúcar, vale ressaltar que a longevidade do canavial está diretamente relacionada à uniformidade dos perfilhos e ao não tráfego de máquinas sobre a cultura. Os valores amostrados para perfilhamento e altura, apresentaram baixa oscilação para os tratamentos, sendo apenas considerado diferente no teste de Tukey o espaçamento 0,90 m x 1,50 m, que se mostrou superior aos demais na quantidade de perfilhos.

O diâmetro do colmo não apresentou diferença entre os tratamentos para cada época de amostragem na cana-planta (Tabela 7) e na cana-soca (Tabela 8). O mesmo foi observado para os valores médios de altura da planta (Tabela 5 e 6).

Assim como a média em produção e número de colmos por área dos componentes de rendimento foram significativamente iguais de acordo com o teste de Tukey nos espaçamentos duplos e simples, a média do espaçamento duplo 0,90 m x 1,50 m para o componente morfológico perfilhamento foi superior, apresentando correlação positiva. Na cana-soca, por sua vez, como se observa na colheita da cana-soca há diferença estatística entre médias dos tratamentos para produtividade - TCH, número de perfilhos por metro e Ton ATR por hectare (Tabela 9, em especial para tratamento de duplo alternado (0,90 m x 1,50 m) para desenvolvimento e formação da produção da cultura (perfilhamento e produtividade).

Nas Tabelas 9 e 10 foram feitas as comparações estatísticas em relação ao Diâmetro e pode observar que o diâmetro apresentou diferença significativa na 4ª avaliação para o Tratamento T3 (0,8 m x 2,0m), na cana-planta e soca, respectivamente.

Na Tabela 11 foi feita a comparação das estatísticas em relação a Altura da cana e pode observar que os valores referentes a Altura da cana foram significativos para o T1 (1,5 m x 1,5 m) na primeira e na segunda avaliação e para T2 (0,8 m x 1,8 m) na quarta avaliação na cana-planta.

Na Tabela 12 foi feita a comparação das estatísticas em relação aos Perfilhos da cana e pode observar que os valores referentes aos Perfilhos da cana foram significativos para o T2 (0,8 m x 1,8 m) na primeira, terceira, quarta e quinta avaliação.

**Tabela 8.** Resultados obtidos para parâmetros fitotécnicos da lavoura em dezembro de 2014, na avaliação do segundo corte na cana-soca.

Análise variância Tukey a 5%	TCH (t. .ha <sup>-1</sup> )	Perfilhos/m	Peso colmos kg/ml und.	Diâmetro colmos (cm)	Altura colmo (m)	ATR (kg/TC)	TAH (t/ha)	Perdas campo (t. cana.ha <sup>-1</sup> )	
Sulcos simples (1,50 m)	64,3 B	10,25 B	9,96 B	1,12 a	2,31 a	2,81 a	101,27 a	6,82 B	3,85 a
Duplo alt. (0,90 m x 1,50 m)	122,1 A	16,75 A	8,57 B	0,97 a	2,43 a	2,58 a	98,62 a	7,90 B	5,55 a
Base larga (1,80 m)	82,8 AB	11,3 B	10,53 B	1,10 a	2,43 a	2,77 a	106,57 a	13,19 A	3,17 a
Base larga (2,00 m)	81,5 AB	13,05 AB	13,7 A	0,85 a	2,46 a	2,44 a	100,26 a	9,04 AB	2,58 a
GL resíduo	19	19	19	19	19	19	19	19	19
F tratamentos	3,04	12,49**	3,98*	0,82	0,67	1,82	1,28	1,952*	1,55
Média geral	66,40	15,69583	10,69	0,6783	2,052	2,66	119,6279	3,624	3,72
Desvio padrão	12,4	1,729033	2,57	0,290	1,84	0,29	11,26558	0,592	2,67
DMS 5%	38,54	3,875	2,763	0,385	0,320	0,481	9,417	3,57	4,34
CV %	18,729	11,015	11,571	13,039	5,163	4,57	32,05	16,342	71,95

**Tabela 9.** Comparação do diâmetro nos Testes de Tukey realizados durante as cinco avaliações na cana-planta (safra).

Tratamento (Tukey a 5%)	Diâmetro do colmo, m				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1-Sulco simples	2,01 a	2,08 a	2,26 a	2,05 b	2,15 a
T2-Base larga (1,80 m)	2,10 a	2,13 a	2,26 a	2,04 b	2,18 a
T3-Base larga (2,00 m)	2,03 a	2,11 a	2,26 a	2,24 a	2,23 a
T4-Duplo alt. (0,90 m x 1,5 m)	2,07 a	2,08 a	2,22 a	2,06 a	2,09 a
Análise de variância					
GL resíduo	233	235	235	235	21
F Tratamento	1,30	0,47	0,37	4,23**	0,81
Média geral	2,05	2,10	2,25	2,09	2,15
Desvio padrão	0,24	0,27	0,28	0,34	0,16
DMS (5%)	0,12	0,13	0,13	0,16	0,26
CV%	11,83	12,96	12,62	16,56	7,67

Nível de significância: \*\*1%; \*5%.

GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

**Tabela 10.** Comparação do Diâmetro nos Testes de Tukey realizados durante as cinco avaliações na cana-soca (safra).

Tratamento (Tukey a 5%)	Diâmetro do colmo, cm				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1-Sulco simples	2,02A	2,26 A	2,22 A	2,32 A	2,31 A
T2-Base larga (1,80 m)	2,02A	2,34 A	2,19 A	2,36 A	2,43 A
T3-Base larga (2,00 m)	2,07A	2,18 A	2,32 A	2,35 A	2,46 A
T4-Duplo alt. (0,90 x 1,5)	2,10A	2,40 A	2,27 A	2,33 A	2,43 A
Análise de variância					
GL resíduo	19	19	19	19	19
F Tratamento	0,67	0,60	0,93	0,85	2,45
Media geral	2,052	2,287	2,334	2,341	2,343
Desvio padrão	0,011	0,153	0,403	0,2625	0,075
DMS (5%)	0,176	0,189	0,192	0,167	0,185
CV%	11,52	6,711486	10,543	10,011	7,95

**Tabela 11.** Comparação da altura nos Testes de Tukey realizados durante as cinco avaliações da cana-planta (safra).

Tratamento (Tukey a 5%)	Altura, cm				
	1º	2º	3º	4º	5º
T1-Sulco simples	122,09 b	167,10 b	178,43 a	217,83 b	290,83 a
T2-Base larga (1,80 m)	138,05 a	179,10 a	169,17 a	234,07 a	289,00 a
T3-Base larga (2,00 m)	127,63 ab	188,90 a	178,31	223,05 ab	256,83 a
T4-Duplo alt. (0,90 m x 1,5 m)	138,33 a	186,93 a	179,01 a	231,65 ab	263,62 a
Análise de variância					
GL resíduo	233	235	235	235	235
F Tratamentos	5,79**	10,01**	1,84 <sup>NS</sup>	3,25**	2,42 <sup>NS</sup>
Media geral	131,53	180,51	176,23	226,65	274,19
Desvio padrão	25,83	24,21	27,02	32,42	27,93
DMS (5%)	11,5	11,44	12,66	15,32	45,05
CV (%)	19,64	13,41	15,28	14,30	10,19

Nível de significância: \*\*1%; \*5%.

GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

**Tabela 12.** Comparação dos perfilhos nos Testes de Tukey realizados durante as cinco avaliações na cana-planta (safra).

Tratamento (Tukey a 5%)	Nº de perfilhos				
	1º	2º	3º	4º	5º
T1-Sulco simples	22,80 b	20,67 a	18,83 b	17,67 b	22,5 b
T2-Base larga (1,80 m)	39,83 a	22,00 a	33,83 b	24,50 a	39,83 a
T3-Base larga (2,00 m)	27,83 b	23,67 a	21,33 b	20,17 ab	27,83 b
T4-Duplo alt. (0,90 m x 1,5 m)	29,33 b	20,83 a	21,17 b	20,00 ab	29,33 ab
Análise de variância					
GL resíduo	19	19	19	19	19
F Tratamento	9,60**	0,38 <sup>NS</sup>	19,27**	3,43*	9,60**
Media geral	29,88	24,79	23,79	20,58	29,87
Desvio padrão	5,74	5,46	3,79	3,77	5,74
DMS (5%)	9,32	8,87	6,15	6,11	9,32
CV %	19,21	25,07	15,93	18,30	19,21

Nível de significância: \*\*1%; \*5%.

GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

Na Tabela 13, verifica-se que nas primeiras duas amostragens a base larga (1,80 m e 2,0 m) houve um bom estabelecimento do canavial, mas na colheita da soca já houve melhoria no perfilhamento no duplo alternado (0,90 m x 1,50 m).

Na Tabela 14, encontra-se resultados para diferentes tratamentos que permite a comparação das estatísticas, em relação ao ATR da cana e pode observar que os valores referentes aos Açúcares Redutores Totais (ATR) não tiveram um tratamento diferente significativa ao longo da safra (Teste F), quando se compara os diferentes tipos de tratamentos. Portanto, de acordo com o teste, as medias não podem ser consideradas distintas.

Na Tabela 15, nota-se claramente que houve um pico de maturação na terceira e quarta amostragens, mas na última amostragem tiveram os valores mais baixo de ATR nos colmos em todos tratamentos. Não houve diferença estatística entre médias dos tratamentos no teste de tukey a 5% de probabilidade.

Nas Tabelas 16 e 17 encontram-se a comparação das estatísticas em relação a Fibra da cana e pode ser observado que os valores não tiveram variância significativa ao longo da safra quando se compara aos diferentes tipos de tratamentos, seja na cana-planta, assim como, na cana-soca. Portanto, de acordo com o teste, as medias não podem ser consideradas distintas.

A tomada de decisão na escolha pelo produtor do melhor espaçamento em uma unidade de produção agroindustrial vai depender de uma série de fatores locais de produção (SILVA et al., 2013; STUPIELLO, 1987) , como:

- 1) Conhecimento do comportamento varietal em relação a mecanização, deve procurar referências suficientes na literatura.
- 2) Adubação por área ou metro linear.
- 3) Desenvolvimento de máquinas e equipamentos ajustado a sua necessidade.

**Tabela 13.** Comparação do número de perfilhos nos Testes de Tukey realizados durante as cinco avaliações na cana-soca (safra).

Tratamento (Tukey a 5%)	Nº de perfilhos				
	1º	2º	3º	4º	5º
T1-Sulco simples	14,68B	12,55 B	10,85 B	9,2 AB	10,25 B
T2-Base larga (1,80 m)	15,51 AB	16,66 A	9,775 B	12,4 A	11,3 B
T3-Base larga (2,00 m)	19,21 A	13,45 AB	14,45 A	12,75 A	13,05 AB
T4-Duplo alt. (0,90 m x 1,5 m)	13,45B	11,575 B	12,4 AB	9,55 B	16,75 A
<b>Análise de variância</b>					
GL resíduo	19	19	19	19	19
F Tratamento	4,075	5,57	1,99	8,360	7,59
Média geral	15,712	13,633	11,962	10,900	
Desvio padrão	2,989	2,99	2,286	1,209	1,980
DMS (5%)	2,8771	2,882	2,934	2,872	3,542
CV = - 11,0984					

**Tabela 14.** Comparação do ATR nos Testes de Tukey realizados durante as cinco avaliações na cana-planta (safra).

Tratamento (Tukey a 5%)	ATR, kg/TC				
	1º	2º	3º	4º	5º
T1-Sulco simples	42,07 a	63,20 a	86,72 a	127,96 a	142,07 a
T2-Base larga (1,80 m)	43,41 a	59,63 a	86,44 a	126,61 a	143,41 a
T3-Base larga (2,00 m)	42,77 a	61,30 a	87,79 a	126,17 a	142,77 a
T4-Duplo alt. (0,90 m x 1,5 m)	43,01 a	59,80 a	88,45 a	127,30 a	143,01 a
<b>Análise de variância</b>					
GL resíduo	19	19	19	19	19
F Tratamento	0,16	1,45	0,20	0,10	0,15
Media geral	42,81	60,89	87,35	127,06	142,81
Desvio-padrão	3,42	3,47	5,17	6,40	3,41
DMS (5%)	5,55	3,47	8,40	10,39	5,55
CV%	7,98	5,52	5,92	5,03	7,98

Nível de significância: \*\*1%; \*5%.

GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

**Tabela 15.** Comparação do ATR nos Testes de Tukey realizados durante as cinco avaliações na cana-soca (safra).

Tratamento (Tukey a 5%)	ATR, kg/TC				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1-Sulco simples	66,195 A	99,18 A	141,18 A	138,85 A	101,27 A
T2-Base larga (1,80 m)	66,70 A	103,75 A	137,36 A	137,39 A	106,57 A
T3-Base larga (2,00 m)	66,34 A	103,22 A	131,67 A	129,92 A	100,25 A
T4-Duplo alt. (0,90 m x 1,5 m)	61,97 A	100,1 A	134,89 A	136,41 A	98,62 A
Análise de variância					
GL resíduo	19	19	19	19	19
F Tratamento	0,30	0,71	2,01	1,85	1,28
Media geral	105,2930	101,5625	135,775	135,642	119,627
Desvio padrão	9,065660	4,075	8,604	4,077	11,265
DMS (5%)	9,545505	13,676	11,234	14,317	14,950
CV%	9,064	8,096	6,3372	8,785	9,417

**Tabela 16.** Comparação da fibra nos Testes de Tukey realizados durante as cinco avaliações na cana-planta.

Tratamento (Tukey a 5%)	Fibra % cana				
	1°	2°	3°	4°	5°
T1-Sulco simples	11,42 a	12,75 a	12,35 a	13,16 a	13,82 a
T2-Base larga (1,80 m)	11,47 a	13,18 a	12,32 a	13,89 a	14,12 a
T3-Base larga (2,00 m)	11,53 a	12,64 a	12,94 a	13,62 a	14,00 a
T4-Duplo alt. (0,90 m x 1,5 m)	11,56 a	12,70 a	12,50 a	13,59 a	14,26 a
Análise de variância					
GL resíduo	19	19	19	19	19
F Tratamentos	0,05	0,60	2,03	1,94	6,46
Media geral	11,49	12,82	12,53	13,56	14,05
Desvio-padrão	0,66	0,77	0,49	0,53	0,66
DMS (5%)	1,08	1,25	0,79	0,86	1,11
CV%	5,70	6,02	3,89	3,92	4,47

Nível de significância: \*\*1%; \*5%.

GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

**Tabela 17.** Comparação da fibra da cana nos Testes de Tukey realizados durante as cinco avaliações na cana-soca (safra).

Tratamento (Tukey a 5%)	Fibra % cana				
	1º	2º	3º	4º	5º
T1-Sulco simples	11,2 A	12,57 A	13,41 A	13,42 A	12,49 A
T2-Base larga (1,80 m)	11,6 A	12,42 A	13,9 A	13, 54 A	12,47 A
T3-Base larga (2,00 m)	11,42 A	12,19 A	13,31 A	12,87 A	11,9 A
T4-Duplo alt. (0,90 m x 1,5 m)	12,1 A	12,47 A	13,04 A	13,06 A	11,89 A
Análise de variância					
GL resíduo	19	19	19	19	19
F Tratamento	1,01	1,18	1,36	1,25	1,06
Média geral	11,58	12,46250	13,2570	12,8725	12,884
Desvio padrão	0,656	0,608	0,5955	0,4075	0,570
DMS (5%)	0,995	1,0131	1,025	0,991	1,105
CV%	4,955	4,885	4,492	5,521	4,4316

- 4) Perda de cana na colheita.
- 5) Qualidade do preparo de solo.
- 6) Tempo de fechamento de entre-linha do canavial.
- 7) Quantidade de muda disponível para o plantio.
- 8) Localização da palha quando aleirada e o controle de tráfego (ix).

## Conclusões

Não houve efeito de tratamentos para biometria após o estabelecimento de cultura. Assim, concluímos que se a maioria dos fatores biométricos é igual, com a exceção do perfilhamento, o melhor sistema de plantio foi no espaçamento duplo 0,90 m x 1,50 m, se mostrou mais vantajoso que os demais até o fechamento do canavial.

Na cana-soca houve melhores resultados para base larga, mostrou-se melhor na fase implantação e formação do canavial, mas a maior produtividade foi obtida no espaçamento duplo 0,90 m x 1,50 m.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos na produtividade real na cana-planta. Entretanto, observa-se que os tratamentos de espaçamento simples e a base larga (0,8 m) tenderam a maiores produtividades. Entretanto, houve uma inversão do melhor tratamento na cana-soca, onde o espaçamento duplo 0,90 m x 1,50 m foi superior a base larga e ao espaçamento simples.

A qualidade tecnológica da cana-de-açúcar foi influenciada em função do tipo de espaçamento (Tratamento) adotado, durante a primeira avaliação (início de safra) em ambas as colheitas, ou seja, na colheita da cana-planta como da primeira soca. Na análise das variáveis Pol, fibra, ATR e Brix, observou-se que o Tratamento 4 (1,5 m x 0,9 m) foi o que mais se destacou, superando os demais tratamentos.

Já na variável altura da cana, os tratamentos T1 (simples de 1,5 m x 1,5m) e T2 (base larga de 0,8 m x 1,8 m) se destacaram e na variável diâmetro, o tratamento T3 (base larga de 0,8 m x 2,0 m) se destacou em relação aos demais tratamentos, mas o mesmo não se observa na cana-soca..

A melhor extração de nutrientes e alocação na parte aérea da cana-planta ocorreu no Tratamento 3 (base larga de 0,8 m x 2,0 m), e a melhor extração de nutrientes e alocação nos colmos da cana-planta ocorreu no Tratamento 2 (base larga de 0,8 m x 1,8 m).

## **Agradecimentos**

Ao Professor Victório Laerte Furlani Neto pelas sugestões aos técnicos da Unidade Madhu para instalação do ensaio, na Renuka do Brasil, Promissão, SP.

## Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). [2014]. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 30 abr. 2014.
- AQUINO, A. F.; BIDÔ, E. S.; GALVÃO, M. L. M.; OLIVEIRA, V. N. O Etanol da cana-de-açúcar: possibilidades energéticas da Região de Ceará-Mirim-RN. **Holos**, Ano 30, v. 1, p. 105-125, 2014. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/713/781>>. Acesso em: 30 abr. 2014.
- BASTOS, E. **Cana-de-açúcar**: o verde mar de energia. São Paulo: Ícone, 1987. 127 p. il. (Coleção Brasil agrícola).
- BENEDINI, M. S.; CONDE, J. A. Espaçamento ideal de plantio para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Coplana**, p. 26-28 out. 2008.
- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. 2013. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/>>. Acesso em: 12 maio 2014.
- CARVALHO, J. L. N.; BRAUNBECK, O. A.; CHAGAS, M. F. **Implantação do plantio direto de cana-de-açúcar**: base para a sustentabilidade do canavial. Campinas: Laboratório Nacional de Ciência Tecnologia do Bioetanol, 2012. Disponível em: <[https://abccapacitacao.files.wordpress.com/2012/11/cana\\_de\\_acucar\\_estudo-de-viabilidade-economica-abc\\_31out2012.pdf](https://abccapacitacao.files.wordpress.com/2012/11/cana_de_acucar_estudo-de-viabilidade-economica-abc_31out2012.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2014.
- CASIERO, D. P. **Efeito do tráfego agrícola na produtividade da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) nos espaçamentos 1,4 e 1,5m**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.
- CHAVES JÚNIOR, G. T. **Influência do clima na produtividade da cana-de açúcar**. 2011. 55 f. il. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em biocombustíveis) - Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 54 p. il.
- CUNHA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu - SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. p. 487-91.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de V.; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. 882 p.

FARIAS, K. de. **Conformidade do etanol hidratado combustível nos postos combustíveis de Piracicaba**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Biocombustíveis) - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba, Piracicaba.

FINOTO, E. L.; BOLONHEZI, D.; SOARES, M. B. B.; MARTINS, A. L. M. Produção de soja RR e ocorrência de plantas daninhas em áreas de reforma de cana crua com diferentes manejos na destruição da soqueira. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 9, n. 2, jul./dez. 2012.

GOOGLE EARTH. 2012. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 20 fev. 2012.

IBGE. **Cidades**. [2014]. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=351720&search=sao-paulo|guaicara>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

IBGE. **São Paulo, Guaçara**: mapa. 2006. Disponível em: <http://ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?lang=&codmun=351720&search=sao-paulo|guai%E7ara>. Acesso em: 20 fev. 2014

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (SP). Produtos. [2014]. Acesso em: 30 fev. 2014. Disponível em: <[http://www.igc.sp.gov.br/produtos/divisao\\_municipal.html](http://www.igc.sp.gov.br/produtos/divisao_municipal.html)>.

KÖPPEN, W. P. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

LUZ, P. H.; VITTI, G. C.; QUINTINO, T. A; OLIVEIRA, D. B. **Utilização de adubação verde na cultura de cana de açúcar**. Piracicaba: Esalq, 2005. 53 p. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/aduba%25E7%25E3o+verde+em+cana-de-acucar\\_000fizudqsj02wyiv802hvm3jh538eng.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/aduba%25E7%25E3o+verde+em+cana-de-acucar_000fizudqsj02wyiv802hvm3jh538eng.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2014.

OLIVEIRA, C. de. **Plantio mecanizado de cana-de-açúcar**: aspectos operacionais e econômicos. Dissertação (Mestrado em Ciências - Máquinas agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2012. 107 p. il. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111148/tde-03122012-111153/pt-br.php>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociências, Unesp, 1995. 101 p.

ROSSETO, R.; SANTIAGO, A. D. **Cana-de-açúcar**: plantio manual. [2014]. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_2\\_22122006154840.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_2_22122006154840.html)>. Acesso em: 20 abr. 2014.

RIPOLI, M. L. C. **Mapeamento do palhicho enfardado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e do seu potencial energético**. 2012. 91 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p. il.

SCHOGOR, A. L. B.; NUSSIO, L. G.; MOURÃO, G. B.; MURARO, G. B.; SARTURI, J. O.; MATOS, B. da C. de. Perdas das frações de cana-de-açúcar submetida a diversos métodos de colheita. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 1443-1450, ago. 2009.

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

SILVA, F. C. da; CESAR, M. A. A.; SILVA, C. A. B. da. **Pequenas indústrias rurais de cana-de-açúcar**: melado, rapadura e açúcar mascavo. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 155 p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas em solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa SCT, Brasília – DF. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 674 p. 2009.

SILVA, F. C. da; DÍAZ-AMBRONA, C. G. H.; ITURRA, A. R. (Ed.). **Desarrollo sostenible de la producción de bioetanol y azúcar**: a partir de la caña de azúcar. Madrid: Editorial Académica Española, 2013. 428 p. il.

SILVA, F. C. da; MUTTON, M. J. R.; CESAR, M. A. A.; MACHADO JUNIOR, G. R.; MUTTON, M. A.; STUPIELO, J. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. In: SILVA, F. C. da; ALVES, B. R.; FREITAS, P. L. de. (Org.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2015. v. 1, p. 288-359.

SOUZA, T. R. **Componentes morfológicos e de rendimento de duas variedades de cana-de-açúcar em espaçamentos de plantio simples e duplos**. 2012. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

STUPIELLO, J. P. **A cana-de-açúcar como matéria-prima**. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). Cana-de-açúcar – cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargil, 1987. v. 2, p. 761-791.

STOLF, R. A influência da compactação do solo em áreas de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO PAULISTA DE MECANIZAÇÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 2010, Jaboticabal. **[Anais]**: UNESP, 2010. SPMEC 2010.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 725-730, 2001.

TEMPO Agora. **Promissão, SP**. [2014]. Disponível em: <<http://www.tempoagora.com.br/previsao-do-tempo/brasil/climatologia/Promissao-SP/>>. Acesso em: 14 fev. 2014.



---

*Informática Agropecuária*

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento



CGPE 12534