

Universidade Brasil
Campus de Fernandópolis

SÉRGIO TÚLIO PEREIRA MACHADO

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR
NO NOROESTE PAULISTA

SUGAR CANE SPRINKLER IRRIGATION IN THE NORTHWEST SÃO PAULO
STATE

Fernandópolis - SP

2019

Sérgio Túlio Pereira Machado

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO
NOROESTE PAULISTA

Orientador: Prof Dr. Luiz Sérgio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Fernandópolis - SP

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

M134i Machado, Sérgio Túlio Pereira.
Irrigação por Asperção na Cultura da Cana-de-Açúcar No
Nordeste Paulista/ Sérgio Túlio Pereira Machado.
São Paulo – SP: [s.n.], 2019.
53 p.: il.; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, co-
mo complementação dos créditos necessários para obtenção
do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador (a): Prof. Dr. Luiz Sérgio Vanzela.

1. Bioenergia. 2. Manejo da Irrigação. 3. *Saccharum spp.*
I. Título.

CDD 633.61

FOLHA DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO



Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respectivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: "IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NA CULTURA DA CANA DE AÇÚCAR NO NOROESTE PAULISTA"

Autor(es):

Discente: Sérgio Túlio Pereira Machado

Assinatura: Sérgio Túlio P. Machado

Orientador: Luiz Sérgio Vanzela

Assinatura: Luiz Sérgio Vanzela

Data: 30/abril/2019

TERMO DE APROVAÇÃO



TERMO DE APROVAÇÃO

SÉRGIO TÚLIO PEREIRA MACHADO

**“IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NA CULTURA DA CANA DE AÇÚCAR NO
NOROESTE PAULISTA”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

Prof(a). Dr(a) Luiz Sergio Vanzela (Presidente)

Prof(a). Dr(a). Gisele Herbst Vazquez (Universidade Brasil)

Prof(a). Dr(a). Carlos Alessandro Chioderoli (Universidade Federal do Triângulo Mineiro)

Fernandópolis, 30 de abril de 2019.

Presidente da Banca Prof(a). Dr(a). Luiz Sergio Vanzela

DEDICATÓRIA

Ao meu orientador Luiz Sérgio Vanzela, que me acompanhou e orientou, com dedicação, competência e, principalmente, paciência.

Ao meu filho Odilon Pereira Machado Neto, que esteve comigo em vários momentos do desenvolvimento deste trabalho, ajudando-me com carinho e dedicação.

Minha querida filha Mayara Cristina da Silva Machado, linda, amiga e companheira, que sempre me incentivou a realizar este sonho.

A minha querida esposa, amiga e companheira, que sempre me incentivou a realizar este sonho e entendeu os meus momentos de ausência, pensando em um futuro melhor para mim, para a minha família e para a humanidade.

Ao meu ex colega e atual grande amigo, professor Albano, que muito me apoiou, principalmente nos momentos difíceis, quando por vezes pensei em parar ele estava ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que é a minha razão de ser...

Imensamente, ao meu orientador Professor Doutor Luiz Sérgio Vanzela, pela dedicação e estímulos diante das minhas dificuldades. Obrigado pelo conhecimento compartilhado.

Aos meus fiéis colaboradores Albano Dias Pereira Filho e Ângelo Ricardo Balduino, sempre dispostos a estarem comigo em qualquer circunstância, diante das dificuldades, jamais negando a ajuda necessária.

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO NOROESTE PAULISTA

RESUMO

A região Noroeste Paulista, embora seja a maior produtora de cana do Estado de São Paulo, tem apresentado um decréscimo na produtividade de biomassa ao longo dos anos, sendo um dos fatores condicionantes, a irregularidades na distribuição da precipitação ao longo do ano. Considerando a possibilidade do uso da tecnologia da irrigação para incrementar a produtividade da cultura, o objetivo neste trabalho foi avaliar a produtividade de biomassa e de açúcares de variedades cana com o uso da irrigação por aspersão em diferentes cultivares no município de Fernandópolis, Noroeste Paulista. Para isto, em 2013 foi implantado um experimento no esquema fatorial 4 x 5 x 4, sendo os tratamentos principais constituídos por quatro níveis de reposição da necessidade de irrigação – NI (100, 86, 21% da NI e sequeiro), os tratamentos secundários por cinco cultivares de cana (CTC2, RB835486, RB855453, RB867515 e SP81-3250), os tratamentos terciários pelas safras (2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017) e 3 repetições. Pelos resultados concluiu-se que, dependendo da cultivar avaliada, as lâminas ideais de irrigação por aspersão variaram de 707 a 1.152 mm, resultando em incrementos variando de 21,2% (= 27,2 t ha⁻¹) a 55,7% (= 58,6 t ha⁻¹) na produtividade média de biomassa. Visando a produtividade de açúcares, a lâmina ideal para todas as cultivares foi de 1.152 mm, proporcionando incrementos variando de 24,8% (= 4,7 t ha⁻¹) a 34,3% (= 6,08 t ha⁻¹). Diante dos resultados pode-se afirmar que a irrigação por aspersão é uma ótima alternativa para incrementar tanto a produtividade de biomassa como de açúcares de cana na região Noroeste Paulista.

Palavras-chave: bioenergia, manejo da irrigação, *Saccharum spp*

SUGAR CANE SPRINKLER IRRIGATION IN THE NORTHWEST SÃO PAULO STATE, BRAZIL

ABSTRACT

The Northwest Region of São Paulo, although to be the largest sugarcane producer in the State of São Paulo, has presented a decrease in the biomass yield of this crop over the years, being one of the conditioning factors, the irregularities in the distribution of Precipitation throughout the year. Considering the possibility of using irrigation technology to increase crop productivity, the objective of this work was to evaluate the sugar and biomass yield of four sugarcane crops irrigated by sprinkling in the municipality of Fernandópolis, in Northwest Paulista. For This, in the year of 2013, an experiment was implemented factorial scheme 4 x 5 x 4, and the main treatments consisted of four levels of replenishment of the need for irrigation-NI (100, 86, 21% of NI and Upland), the secondary treatments by five cultivars of sugarcane (CTC2, RB835486, RB855453, RB867515 and SP81-3250), tertiary treatments by harvests (2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017) and 3 replications. According to the results, it was concluded that, depending on the cultivar evaluated, the ideal sprinkler irrigation blades ranged from 707 to 1.152 mm, resulting in increments varying from 21.2% (= 27.2 T ha⁻¹) to 55.7% (= 58.6 T ha⁻¹) in the average biomass yield. Aiming at the productivity of sugars, the ideal blade for all cultivars was 1.152 mm, providing increments varying from 24.8% (= 4.7 t ha⁻¹) to 34.3% (= 6.08 T ha⁻¹). In view of the results, it can be affirmed that sprinkler irrigation is a great alternative to increase both the productivity of biomass and sugar cane in the Northwest region of São Paulo.

Keywords: bioenergy, irrigation management, *Saccharum spp*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração de pequeno moinho de açúcar portátil e uma fábrica de açúcar (Fonte: Historique au Bresil, 1835).	18
Figura 2. Evolução da produtividade agrícola entre 1975 e 2012 (NYKO et al., 2013).	21
Figura 3. Localização da Fazenda Santa Rita, Fernandópolis - SP.	25
Figura 4. Preparo do solo na área experimental, Fazenda Santa Rita, Fernandópolis-SP (abril de 2013).	26
Figura 5. Distribuição dos colmos nos sulcos de plantio.	27
Figura 6. Conformação da área experimental.	29
Figura 7. Esquema geral da instalação dos coletores na área experimental.	29
Figura 8. Distribuição espacial das lâminas aplicadas.	30
Figura 9. Pesagem das parcelas úteis.	32
Figura 10. Resposta da produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) no período de 2013 a 2017 ($p < 0,01$).	34
Figura 11. Produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em diferentes cultivares no período de 2013 a 2017 ($p < 0,01$).	35
Figura 12. Produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em diferentes safras no período de 2013 a 2017 ($p < 0,01$).	36
Figura 13. Resposta da produtividade de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) nas safras estudadas.	36
Figura 14. Produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em diferentes cultivares estudadas por safra.	37
Figura 15. Resposta da produtividade de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) nas cultivares estudadas.	39
Figura 16. Resposta linear da produtividade média de açúcares totais recuperáveis de cana (ATR) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) no período de 2013 a 2017 ($p < 0,01$).	41
Figura 17. Produtividade média de açúcares totais recuperáveis (ATR) de cana-de-açúcar (Y) em diferentes cultivares no período de 2013 a 2017, com nível de significância $p < 0,01$.	41

- Figura 18. Produtividade média de biomassa de açúcares totais recuperáveis (ATR) em diferentes safras no período de 2013 a 2017, com nível de significância $p < 0,01$. 42
- Figura 19. Resposta da produtividade de açúcares totais recuperáveis de cana (ATR) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) nas safras estudadas. 43
- Figura 20. Produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em diferentes cultivares estudadas por safra. 44
- Figura 21. Resposta da produtividade de açúcares totais recuperáveis de cana (Y) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) nas cultivares estudadas. 45
- Figura 22. Resultado final do manejo da irrigação nas quatro safras avaliadas, sendo E_{To} a evapotranspiração de referência, E_{Tc} a evapotranspiração da cultura, P a precipitação, NI a necessidade de irrigação, TI o tempo de irrigação. 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diferenças entre as espécies de cana-de-açúcar.	19
Tabela 2. Cultivares de cana-de-açúcar mais utilizadas no Brasil.	20
Tabela 3. Resultado da análise do solo da área experimental.	27
Tabela 4. Quantidades de corretivos e nutrientes aplicados por hectare aplicados nas parcelas.	28
Tabela 5. Resultado do teste de uniformidade para cada faixa de tratamento de irrigação.	30
Tabela 6. Resumo geral da duração do ciclo total de cada safra, bem como o período de uso da irrigação e os respectivos coeficientes da cultura adotados.	31
Tabela 7. Resultado da análise de variância da resposta de produtividade de biomassa em função dos fatores isolados e da interação entre fatores.	34
Tabela 8. Resultado da análise de variância da produtividade de açúcares totais recuperáveis em função dos fatores isolados e da interação entre fatores.	40
Tabela 9. Resultado final do manejo da irrigação nas quatro safras avaliadas.	46
Tabela 10. Lâminas aplicadas via aspersão para a máxima produtividade de biomassa e de açúcares nas cultivares, precipitação e evapotranspiração da cultura na média das quatro safras.	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Geral	16
2.2. Específico	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. Conceito e histórico	17
3.2. Botânica	18
3.3. Cultivares	19
3.5. Produção e safras	20
3.6. Irrigação na cultura da cana-de-açúcar	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. Localização	25
4.2. Características edafoclimáticas	25
4.3. Delineamento experimental	26
4.4. Instalação e condução do experimento	26
4.4.1. Preparo da área e plantio	26
4.4.2. Correção do solo e adubação	27
4.4.3. Tratos culturais	28
4.4.4. Implantação dos tratamentos	28
4.5. Variáveis analisadas	31
4.5. Análise dos resultados	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1. Produtividade de biomassa	34
5.2. Produtividade de açúcares totais recuperáveis (ATR)	40
5.3. Manejo da irrigação em cana-de-açúcar	45
6. CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

Uma das culturas de maior importância comercial no Brasil é a cana-de-açúcar, sendo o principal produtor mundial na atualidade, responsável na safra 2017/2018, por 8,8 milhões de hectares plantados e 646,33 milhões de toneladas produzidas (CONAB, 2019). Para Souza et al. (2013), o fator determinante no sucesso da cana-de-açúcar como cultura de bioenergia é a constituição de um sistema economicamente sustentável, com uma indústria muito bem adaptada a algumas regiões do Brasil.

O maior produtor brasileiro é o Estado de São Paulo com área plantada correspondente a 55,6% do total brasileiro na safra 2016/2017 (UNICA, 2018). Mas a partir de dados apresentados pelo mesmo autor, observou-se uma significativa evolução do cultivo de cana-de-açúcar para outros Estados, até então considerados como as novas fronteiras, como Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, que na safra 2016/2017 responderam por 27,1% do total plantado no Brasil.

No Estado de São Paulo, a região Noroeste se destaca atualmente como a maior produtora, sendo as regiões administrativas de São José do Rio Preto e Araçatuba, responsáveis por 27,4% do total cultivado no Estado (IEA, 2019). Entretanto, pelos dados da mesma instituição, a produtividade média nas referidas regiões foram de 78,1 e 74,1 t ha⁻¹, colocando-as, respectivamente, nas 8^a e 14^a posição no ranking de produtividade média do Estado de São Paulo.

Dentre os fatores associados a essas baixas produtividades no Noroeste Paulista pode-se citar as características edafoclimáticas, dentre as quais, a distribuição irregular da precipitação ao longo do ano é a principal. Lima et al. (2009), ao elaborar o balanço hídrico climatológico normal ponderado para o município de Fernandópolis – SP com 41 anos de dados de precipitação e 17 anos de dados de evapotranspiração potencial, obtiveram uma média histórica de 8 meses de déficits hídricos. De acordo com Souza (2014), esta distribuição irregular de chuvas associada a falta de cultivares de cana tolerantes a déficits hídricos prolongados, têm sido algumas das principais causas das baixas produtividades na região.

Sob o cenário atual de crescimento de demanda do produto associado ao déficit hídrico prolongado, a irrigação passa a ser importante técnica para o produtor de cana-de-açúcar, desde que se tenha água disponível. Entretanto, algumas questões ainda devem ser elucidadas em relação a viabilidade da técnica da irrigação, tais como os resultados positivos na cultura de cana-de-açúcar e as cultivares respondem melhor ao uso da tecnologia.

Segundo Mantovani et al. (2006) a irrigação apresenta vantagens relacionadas tanto em relação às melhorias da produtividade relativa da cultura como em relação aos benefícios socioeconômicos que promovem, dentre os quais pode-se citar: seguro contra secas; maior eficiência no uso de fertilizantes; maior produtividade das culturas; melhor qualidade do produto; programa de cultivo com colheitas fora da época tradicional; exploração de culturas de alto valor comercial, minimizado o custo do investimento; a geração de empregos; aumento de renda do agricultor; redução do êxodo rural das famílias e o próprio desenvolvimento da região da cultura irrigada.

Com relação ao uso da irrigação na cultura da cana-de-açúcar, Gava et al. (2009), ao avaliarem a produtividade de cultivares de cana-de-açúcar sob condições de sequeiro e irrigação por gotejamento na região Centro-Oeste do Brasil, observaram incrementos médios de 24% na produção dos colmos e de 23% na produção de açúcar. De acordo com algumas outras pesquisas, dependendo da região, a irrigação dos canaviais pode incrementar a produtividade de 15,7 a 76,1% (RESENDE; ANDRADE JÚNIOR, 2007).

Considerando a possibilidade de incrementar a produtividade da cultura com o uso da tecnologia da irrigação, o objetivo neste trabalho foi avaliar a produtividade de biomassa e de açúcares de cana irrigada por aspersão no município de Fernandópolis, Noroeste Paulista.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

O objetivo neste trabalho foi avaliar a produtividade de biomassa e de açúcares em cultivares de cana, com o uso da irrigação por aspersão no município de Fernandópolis, Noroeste Paulista.

2.2. Específico

- Avaliar a produtividade de biomassa e açúcar de diferentes cultivares de cana sob irrigação por aspersão na média das safras.
- Avaliar a produtividade de biomassa e de açúcar das diferentes cultivares, sob irrigação por aspersão, nas safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017.
- Determinar os melhores percentuais de reposição da necessidade de irrigação para as diferentes cultivares de cana-de-açúcar estudadas, e função da máxima produtividade de biomassa e de açúcares;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Conceito e histórico

De acordo com Santos (2018) a cana-de-açúcar é uma planta do grupo de espécies de gramíneas do gênero *Saccharum*, tribo Androponeae, nativa das regiões tropicais do sul da Ásia e da Melanésia e utilizada principalmente para a produção de açúcar e Bioetanol. Teoriza-se que a cana foi domesticada pela primeira vez como uma cultura agrícola na Nova Guiné, cerca de 6000 a.C.

O autor ainda destaca que se trata de uma planta de caules robustos, fibrosos e articulados que são ricos em sacarose podendo chegar a seis metros de altura. Todas as espécies de cana-de-açúcar mestiças e as principais cultivares comerciais são híbridos complexos. A cana pertence à família Poaceae, assim como outras importantes culturas como o milho, trigo, arroz e sorgo e muitas culturas forrageiras.

De acordo com a história, Cristóvão Colombo que era genro de um grande produtor de açúcar na Ilha Madeira, foi quem introduziu o plantio da cana na América, que ocorreu em sua segunda viagem ao continente no ano de 1493, onde hoje é a República Dominicana (UDOP, 2008).

Para Schwartz (1988), oficialmente, foi Martim Affonso de Souza que no ano de 1532 trouxe a primeira muda de cana ao Brasil e assim iniciou seu cultivo na Capitania de São Vicente, onde nesse mesmo local, construiu o primeiro engenho de açúcar. O autor destaca que foi no Nordeste, principalmente nas Capitânicas de Pernambuco e da Bahia, que os engenhos de açúcar se multiplicaram, dando origem ao ciclo da cana-de-açúcar (Figura 1).

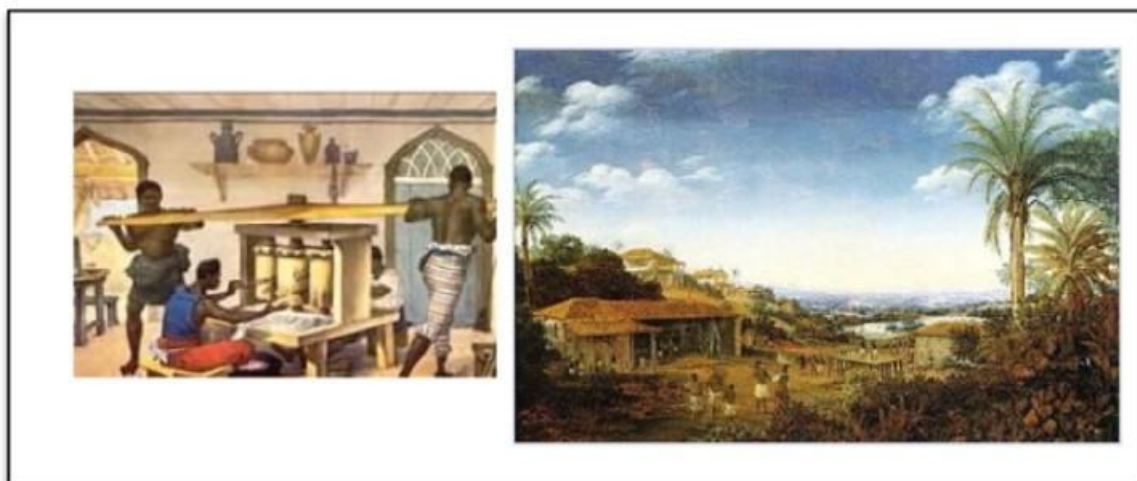


Figura 1. Ilustração de pequeno moinho de açúcar portátil e uma fábrica de açúcar.

Schwartz (1988) destaca que em 1549 já havia trinta engenhos-banguê em Pernambuco, dezoito na Bahia e dois em São Vicente, sendo a base da economia do Nordeste brasileiro na época. A principal força de trabalho empregada era escrava, de origem indígena e africana, sendo utilizada até o fim do século XIX. Com o tempo a economia dos engenhos entrou em decadência, sendo praticamente substituída pelas usinas e destilarias.

3.2. Botânica

A cana-de-açúcar é uma planta originária da Oceania – Nova Guiné, típica de climas tropicais e subtropicais, se adaptando bem à América, que ofereceu excelentes condições edafoclimáticas para o seu desenvolvimento.

Segundo Cronquist (1981 apud Segato e Pereira 2006), a cana-de-açúcar é pertencente ao Reino Plantae, Divisão Magnoliopyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Graminales, Família Poaceae e Gênero *Saccharum*, com seis espécies: *Saccharum officinarum*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum sinensis*, *Saccharum barberi*, *Saccharum robustum* e *Saccharum edule*. As principais diferenças entre as espécies são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Diferenças entre as espécies de cana-de-açúcar.

Espécie	Características
---------	-----------------

<i>Saccharum officinarum</i>	Canas nobres/tropicais; colmos grossos, elevado teor de açúcar; baixo teor de fibras; exigentes por boas condições de solo e de clima; mais sensíveis a doenças.
<i>Saccharum spontaneum</i>	Baixo teor de açúcar; colmos curtos e finos; elevado teor de fibras; suportam condições ruins de solo e de clima; perfilhamento vigoroso e abundante; resistentes a doenças.
<i>Saccharum sinnensis</i>	Variedade de cana-de-açúcar oriundas do Japão e da China; teor médio de açúcar; colmos elevados e finos; teor elevado de fibras; resistência mediana às condições do solo e do clima; vegetam em solos secos e pobres.
<i>Saccharum barberi</i>	Originária do Norte da Índia; baixo teor de açúcar; colmos baixos e finos; alto teor de fibras.
<i>Saccharum robustum</i>	Teor muito baixo de sacarose; colmos bastante altos (chegando a atingir 10 m de altura), e grossos; teor muito elevado de fibras; tolerantes à umidade; sensíveis a doenças, como o mosaico.

Fonte: Cronquist (1981) apud Segato et al. (2006)

3.3. Cultivares

Segundo Gonçalves (2009), o fato do gênero *Saccharum* possuir seis espécies, favorece a formação de híbridos interespecíficos, tolerantes à seca e doenças, dos quais muitos são cultivados atualmente.

No Brasil, o programa COPERSUCAR (atualmente Centro de Tecnologia Canavieira – CTC) produziu as cultivares da sigla SP (SP 70-1143, SP 71-1406, SP 70-1284, SP 71-6163) cultivadas desde os anos 80. Em 1992, a Rede Interinstitucional de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), envolvendo um conjunto de universidades federais, recebe do setor sucroenergético investimentos significativos e, no decorrer de três anos, passou a liberar diversas cultivares (RB765418, RB785148, RB72454 e na sequência, RB806043, RB835089, RB825336, RB845257, RB855536, RB835486 e RB855453).

Atualmente o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e CanaVialis (empresa privada, fundada em 2004) trabalham em conjunto com a Empresa Allelyx no desenvolvimento de cultivares transgênicas não comerciais.

Na Tabela 2 estão apresentadas as principais cultivares de cana-de-açúcar cultivadas no Brasil e as respectivas instituições de pesquisa que as desenvolveram.

Tabela 2. Cultivares de cana-de-açúcar mais utilizadas no Brasil.

Cultivares desenvolvidas pela PLANALSUCAR/RIDESA

RB70141	RB725828	RB705007	RB705051
RB705146	RB70194	RB72454	RB721012
RB725147	RB705440	RB732577	RB735220
RB735275	RB739359	RB739735	RB765418
RB785148	RB75126	RB758540	RB763710
RB83102	RB83160	RB83252	RB83594
RB835019	RB835054	B83R5089	RB835486
RB8491	RB8495	RB842021	RB845257
RB8543	RB855035	RB855113	RB855156
RB855453	RB855463	RB855511	RB855536
RB855546	RB855563	RB867515	RB845197
RB845210	RB855036	RB865230	RB928064
RB858927	RB92579	RB93509	RB931530
RB863129	RB925211	RB872552	RB943538
RB932520		RB935744	RB925268
RB925345			
Cultivares desenvolvidas pela COPERSUCAR			
SP77-5181	SP80-3280	SP79-1011	SP87-344
SP79-2233	SP85-3877	SP81-320	SP87-365
SP80-1842	SP81-3250	SP86-42	SP87-396
SP83-2847	SP-2233	SP85-5077	SP83-5073
SP86-155	SP80-1816	SP91-1049	
Cultivares desenvolvidas pelo Centro de Tecnologia Canavieira - CTC			
CTC 1	CTC 2	CTC 3	CTC 4
CTC 5	CTC 6	CTC 7	CTC 8
CTC 9	CTC 10	CTC 11	CTC 12
CTC 13	CTC 14	CTC 15	CTC 16
CTC 17	CTC 18		
Cultivares desenvolvidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)			
IAC 95-3028	IAC 93-2060	IAC91-1099	IAC 95-5000
IAC 93-3046	IAC 94-2101	IAC 94-2094	IAC 94-4004
IAC91-2195	IAC91-2218	IAC91-5155	IAC93-6006
IAC86-2480	IAC82-2045	IAC82-3092	IAC86-2210
IAC87-3396			

Fonte: adaptado de Agência Embrapa de Informação Tecnológica (2008).

3.5. Produção e safras

Embora a criação do programa Proálcool tenha proporcionado crescimento de produtividade da cultura da cana, esse crescimento não vem sendo uniforme ao longo do tempo.

Conforme a Figura 2, que destaca a evolução da produtividade de biomassa e de açúcar, pode-se notar que houve um crescimento uniforme até cerca de 2010, o que demonstra a performance da inovação agrícola no setor. Mas a partir da safra 2011/2012 observou-se uma queda significativa na produtividade.

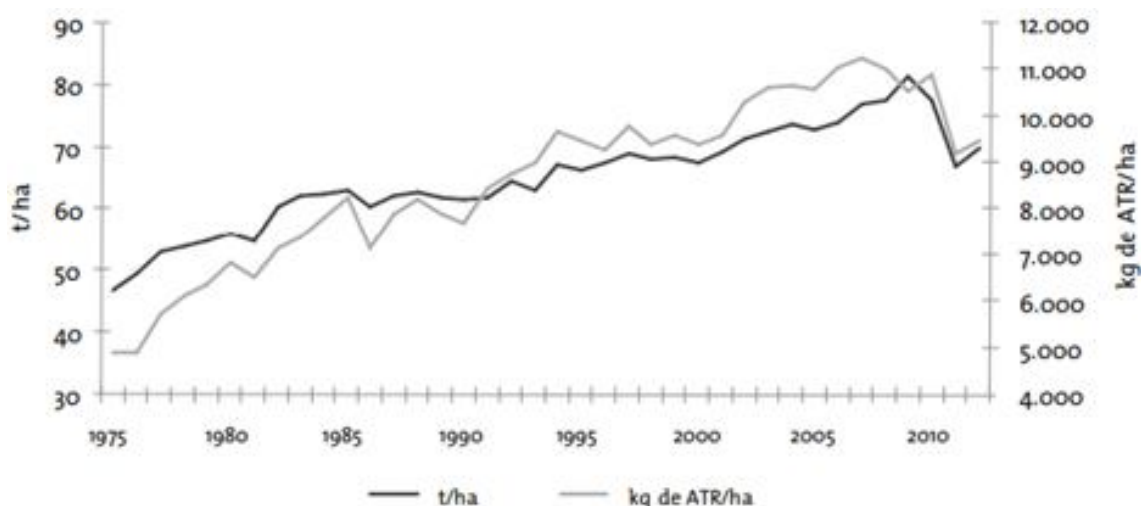


Figura 2. Evolução da produtividade agrícola entre 1975 e 2012 (NYKO et al., 2013).

A produção de cana-de-açúcar deverá ter uma queda de 1,2% e chegar a 625,96 milhões de toneladas na safra 2018/2019. Na safra 2017/2018, a produção fechou em 633,26 milhões de toneladas. A estimativa é parte do primeiro levantamento da safra pela CONAB (2018), que caso se confirme, será a terceira queda consecutiva na produção.

A área colhida está estimada em 8,61 milhões de hectares, um recuo de 1,3% em relação 2017/2018. Segundo a CONAB (2018) a queda é devido a devolução de terras arrendadas. Outro fator relevante é a rescisão de contratos com fornecedores, que também contribuiu para a redução dos índices já sinalizados no fechamento da safra anterior.

3.6. Irrigação na cultura da cana-de-açúcar

No cultivo de cana-de-açúcar um fator importante a se destacar são as consequências do déficit hídrico e/ou problemas climáticos. Doorembos e Kassam (1979) destacaram que a atividade sucroalcooleira seria inviável sob condições normais de precipitação em regiões semiáridas, pois a cana-de-açúcar, em seu sistema de produção, consome entre 1.500 e 2.000 mm de água por ciclo anual, para alcançar produtividade em torno de 100 a 150 t ha⁻¹.

Araújo (2011) afirma que, em caso de regiões semiáridas onde as temperaturas são altas, com maior evapotranspiração e precipitações escassas na maior parte do ano, o balanço hídrico é deficiente porque a evapotranspiração

potencial é maior do que as precipitações. Além disso, o período chuvoso é concentrado em apenas três ou quatro meses, sendo os demais meses de longa estiagem.

Em regiões com má distribuição de chuva (temporal e espacial), Dantas et al. (2006) afirmaram que os sistemas de irrigação se tornam imprescindíveis no fornecimento de água à cultura, pois nessas condições o estresse hídrico pode resultar em quedas de produtividade.

Com relação a importância e benefícios da irrigação da cana-de-açúcar, Matioli et al. (1998) destacaram três pontos importantes: aumento da produtividade agrícola, longevidade das soqueiras e possibilidade de redução de custos. Neste último, os autores relacionam à redução de custos no processo produtivo, como a possibilidade de dispensa de arrendamentos.

Frizzone et al. (1994) definem a irrigação como recurso tecnológico indispensável para o aumento da produtividade das culturas em regiões de insuficiência ou má distribuição das chuvas inviabiliza a exploração agrícola. Destacam também que a viabilidade econômica é um fator indispensável para sua adoção entre os agricultores, considerando que a agricultura irrigada exige alto investimento, tais como: obras, aquisição de equipamentos, transporte, controle e distribuição de água, energia e mão-de-obra para operação do sistema. Estes representam importantes custos adicionais, os quais devem ser compensados pelo incremento de produtividade proporcionado pela tecnologia.

Para o caso de produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar cultivada no cerrado, Zingaretti et al. (2012) consideram a necessidade de uso da irrigação para a prática agrícola e afirmam ainda que, neste tipo de bioma, além do fato das chuvas serem sazonais (estação seca e chuvosa bem definidas), ocorrem alta demanda atmosférica, favorecendo a perda de água pela evapotranspiração e estresse hídrico na planta. Estes processos resultam em alterações fisiológicas importantes, tais como: o aumento da temperatura foliar, diminuição da condutância estomática, transpiração e fotossíntese, os quais implicam em uma redução na assimilação de CO₂, com conseqüente decréscimo da produtividade.

Considerando que em algumas regiões prevalecem baixas precipitações ao longo dos meses, torna-se essencial à utilização de técnicas para a melhoria do cultivo. Dentre essas técnicas, destaca-se a irrigação, que para Cintra et al. (2000), tem como objetivo suprir as necessidades hídricas de uma área plantada

em decorrência à baixa disponibilidade hídrica ou a má distribuição das chuvas. Os autores também destacam que os métodos de irrigação utilizados são a superficial, a localizada e a aspersão.

Santos et al. (2017) afirmam que um dos métodos de maior destaque na produtividade da cana-de-açúcar é a irrigação por aspersão, por ter a vantagem de a água ser distribuída por um maior volume de raiz (maior bulbo úmido), com crescimento mais rápido, com qualidade e quantidade. Para os autores, existem outras vantagens na irrigação por aspersão por pivô central bem conduzida, tais como, baixo custo de mão-de-obra, eficiência de aplicação, facilidade e força na aplicação de fertirrigação e um bom controle da lâmina de irrigação. Por outro lado, pode haver aumento da incidência de doenças em função da maior umidade das folhagens, custos iniciais altos de energia e manutenção, dependência da declividade do terreno, além de possíveis danos ao solo pelo escoamento de água nas bordas do pivô central.

Cintra et al. (2000) tipificam a irrigação por aspersão em cana-de-açúcar em irrigação de salvamento, irrigação suplementar com déficit e a irrigação plena. Para os autores nos canaviais tradicionalmente irrigados do Brasil, a irrigação de salvamento consiste na aplicação de uma lâmina de 60 a 80 mm de água após cada corte anual, proporcionando um incremento médio de produtividade de 12 a 15 t ha⁻¹, onde também pode ser empregado o pivô-central rebocável.

Outras formas comuns de irrigação dos canaviais brasileiros são as irrigações suplementar com déficit e a plena. Na primeira, geralmente aplica-se cerca de 50% da necessidade de suplementação hídrica do canavial, que vai de 180 mm a 300 mm ano⁻¹. Essa técnica aliada a boas práticas de cultivo pode proporcionar um aumento de produtividade entre 20 e 25 t ha⁻¹, em que a principal forma de aplicação é o pivô central fixo com lâmina baixa. Já na irrigação plena, aplica-se de 300 mm a 100% da necessidade de suplementação hídrica anual da cana, proporcionando incremento mínimo de 25 a 40 t ha⁻¹ (SANTOS; FRIZZONE, 2006).

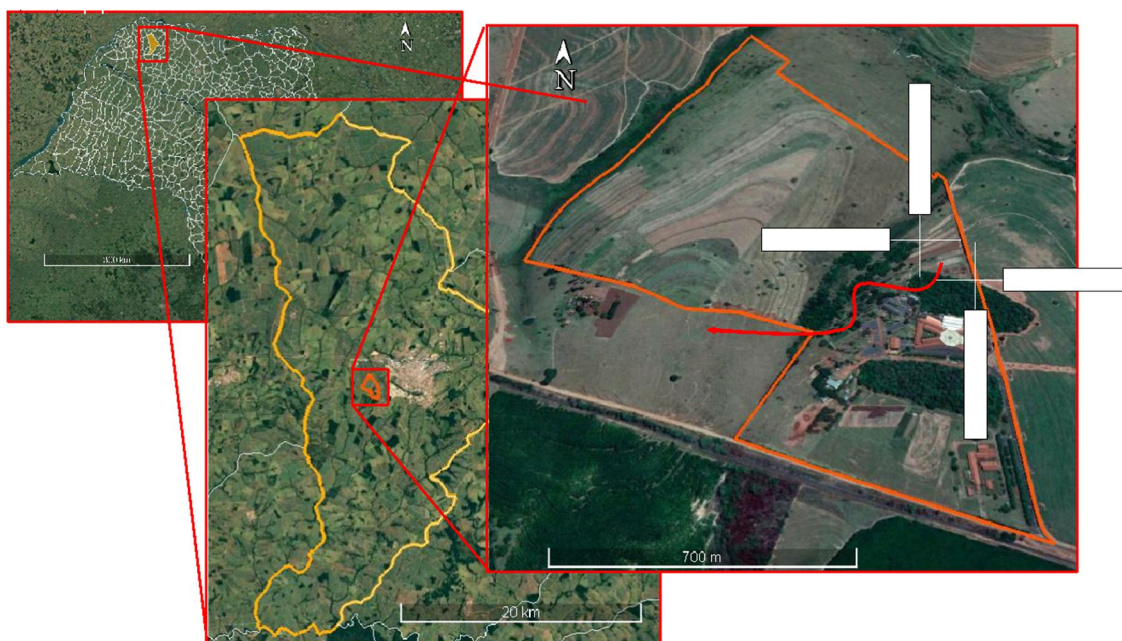
Nos últimos anos estão ocorrendo longos períodos de estiagens em diferentes regiões do Brasil e se torna mais evidente a necessidade de irrigação em cana-de-açúcar para a sua exploração comercial. Isso porque os longos períodos de déficits hídricos proporcionam significativas reduções de produtividade.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização

O experimento foi conduzido de 2013 a 2017 na área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Universidade Brasil, Campus de Fernandópolis (Fazenda Santa Rita), Noroeste Paulista, localizada entre as latitudes $20^{\circ}17'34,40''$ e $20^{\circ}17'36,19''$ Sul e longitudes $50^{\circ}16'44,90''$ e $50^{\circ}16'48,67''$ Oeste (Figura 3).

Figura 3. Localização da Fazenda Santa Rita, Fernandópolis - SP.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018).

4.2. Características edafoclimáticas

O clima da região, segundo Koppen, o é tropical úmido visto que possui inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso (ROLIM et al., 2007), com precipitação média anual de 1.321 mm e 8 meses de déficits hídricos (LIMA et al., 2009). De acordo com Oliveira et al. (1999) o solo da área experimental é do grupo PVA1, sendo Argissolos Vermelhos Amarelos Eutróficos Abrúpticos, a moderado de textura arenosa/média, em relevo suave ondulado e ondulado.

4.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em faixas no esquema fatorial 4 x 5 x 4, sendo os tratamentos principais constituídos por quatro níveis de reposição da necessidade de irrigação – NI (100, 86, 21% da NI e sequeiro), os tratamentos secundários por cinco cultivares de cana (CTC2, RB835486, RB855453, RB867515 e SP81-3250), os tratamentos terciários pelas safras (2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017) e 3 repetições.

4.4. Instalação e condução do experimento

4.4.1. Preparo da área e plantio

Na área em que foi realizado o experimento, antes era ocupada por milho seguida por pastagem de *Brachiaria decumbens*. O preparo do solo foi realizado em 19 de abril de 2013, sendo constituído de preparo convencional por meio de uma aração e duas gradagens niveladoras (grades leves) (Figura 4).

Figura 4. Preparo do solo na área experimental, Fazenda Santa Rita, Fernandópolis-SP (abril de 2013).



Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida foi realizada a sulcação mecanizada no espaçamento de 1,50 m. O plantio manual foi realizado também em abril de 2013, com mudas de cana de 5 cultivares, na proporção de 15 gemas por metro. A distribuição das cultivares nas parcelas da área experimental foi randomizada. As cultivares plantadas foram RB867515, RB855453, CTC2, SP81-3250 e RB835486, todas originadas do viveiro de mudas da Alcoeste Bioenergia S/A (Figura 5).

Figura 5. Distribuição dos colmos nos sulcos de plantio.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.4.2. Correção do solo e adubação

A correção e a adubação química do solo no primeiro ano foram realizadas de acordo com análise de amostra coletada na área experimental em março de 2013, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm (Tabela 3).

Tabela 3. Resultado da análise do solo da área experimental.

Prof. cm	P mg dm ⁻³	M. O. g dm ⁻³	pH CaCl	mmol _c dm ⁻³					
				K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H+Al	Al ⁺	S. B.
0-20	26,0	15,0	5,1	0,20	2,20	0,70	1,70	0,09	3,10
20-40	14,9	12,1	4,9	0,19	1,80	0,50	2,00	0,11	2,49
Prof. cm	CTC mmol _c dm ⁻³	V %	m %	S-SO ₄ mg dm ⁻³	mg dm ⁻³				
					B	Fe	Mn	Cu	Zn
0-20	5,0	65,0	3,0	1,5	0,270	128,0	44,2	0,4	2,6
20-40	4,5	55,5	4,2	3,0	0,007	119,0	38,4	0,3	1,0

A programação de correção do solo e adubação ao longo das 4 safras seguiu conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Quantidades de corretivos e nutrientes aplicados por hectare aplicados nas parcelas.

Ciclo	Correção do solo	Adubação
2013/2014	2 t de calcário dolomítico + 1,5 t de gesso antes das gradagens niveladoras	100 kg N, 60 kg P ₂ O ₅ e 50 kg K ₂ O no sulco de plantio + 80 kg N e 50 kg K ₂ O distribuído na linha aos 90 dias
2014/2015	1,5 t de calcário dolomítico a lanço após o corte	80 kg N, 50 kg P ₂ O ₅ e 70 kg K ₂ O na linha + 80 kg N, 50 kg P ₂ O ₅ e 70 kg K ₂ O na linha aos 90 dias
2015/2016	1,0 t de calcário dolomítico a	65 kg N, 40 kg P ₂ O ₅ e 60 kg K ₂ O na linha + 65 kg

	lanço após o corte	N, 40 kg P ₂ O ₅ e 60 kg K ₂ O na linha aos 90 dias
2016/2017	1,0 t de calcário dolomítico a lanço após o corte	65 kg N, 40 kg P ₂ O ₅ e 60 kg K ₂ O na linha + 65 kg N, 40 kg P ₂ O ₅ e 60 kg K ₂ O na linha aos 90 dias

OBS: As quantidades foram calculadas para uma área de 1.440 m², sendo como fonte de nutrientes o Nitrato de Enxofre, MAP e Cloreto de Potássio.

4.4.3. Tratos culturais

Para o controle de plantas daninhas em pré-emergência, após o plantio e colheitas, foram aplicadas a combinação de 0,5 L de Boral (Sulfentrazone) + 0,5 L de Lava (Tebuthiuron), além de roçagens manuais esporádicas visando manter a área isenta da competição com as daninhas.

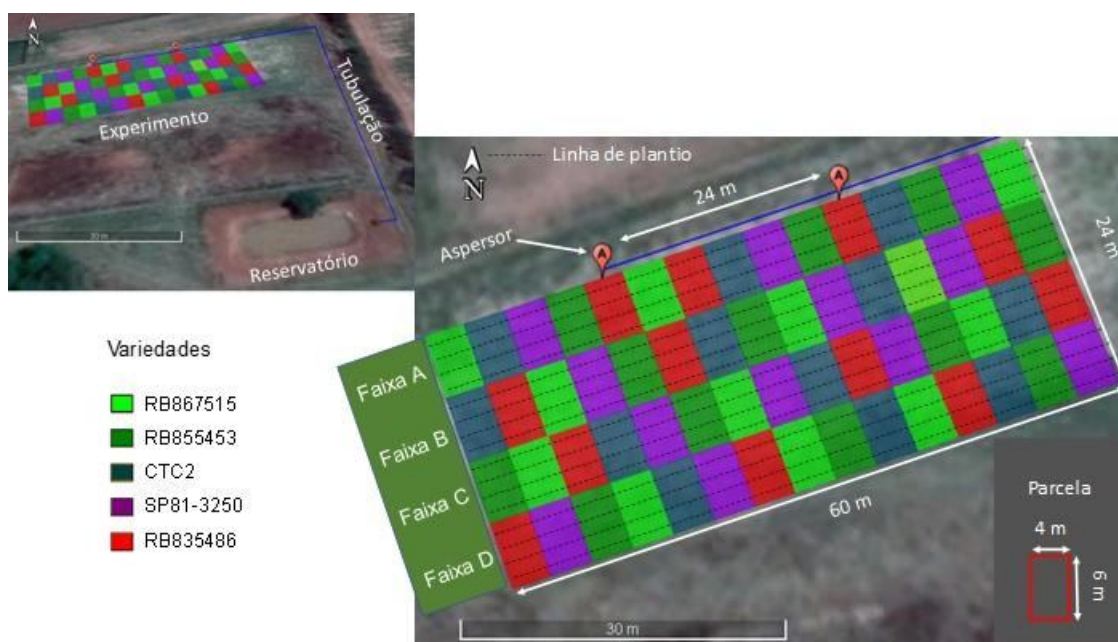
Para o controle de broca utilizou-se a liberação de 500 a 800 adultos de *Cotesia* na área experimental. A soltura de *Cotesia* foi realizada assim que detectada a presença de broca no experimento.

4.4.4. Implantação dos tratamentos

A área experimental foi constituída de 60 parcelas de 4 linhas de 4 m de cana, resultando em dimensões finais de 6 x 4 m e área total de 1.440 m², em que as duas linhas centrais de cada parcela foram consideradas como úteis.

Os primeiros tratamentos implantados foram os das cultivares de cana, que após o sorteio das parcelas e plantio, apresentaram a conformação da Figura 6.

Figura 6. Conformação da área experimental.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2018).

Os tratamentos de irrigação foram configurados pelo percentual de água aplicada em cada faixa irrigada A, B, C e D, em relação à faixa A (Figura 7). Este procedimento foi realizado pelo cálculo da taxa de aplicação média, determinada por meio de teste de uniformidade nas faixas, com o auxílio de coletores instalados ao longo de cada faixa, espaçados 1,5 m um do outro (nas bordaduras e centro das parcelas) (Figura 7).

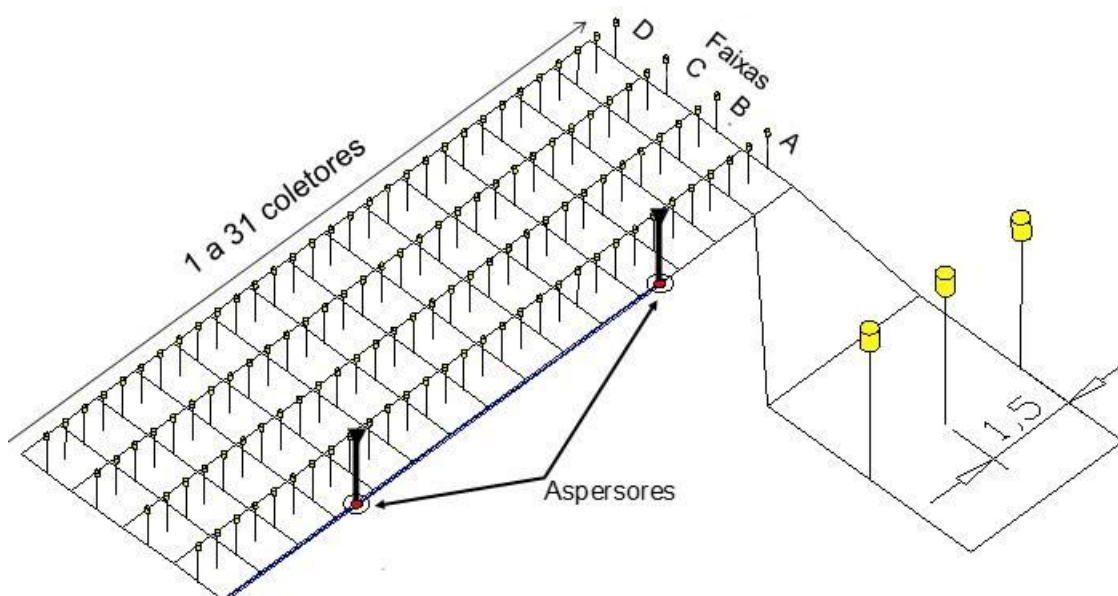


Figura 7. Esquema geral da instalação dos coletores na área experimental.

O sistema permaneceu ligado durante aproximadamente 1 hora (início às 15:56 e fim às 17:00), resultando em uma coleta média na faixa A de 7,3 mm e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) igual a 60% (Figura 8).

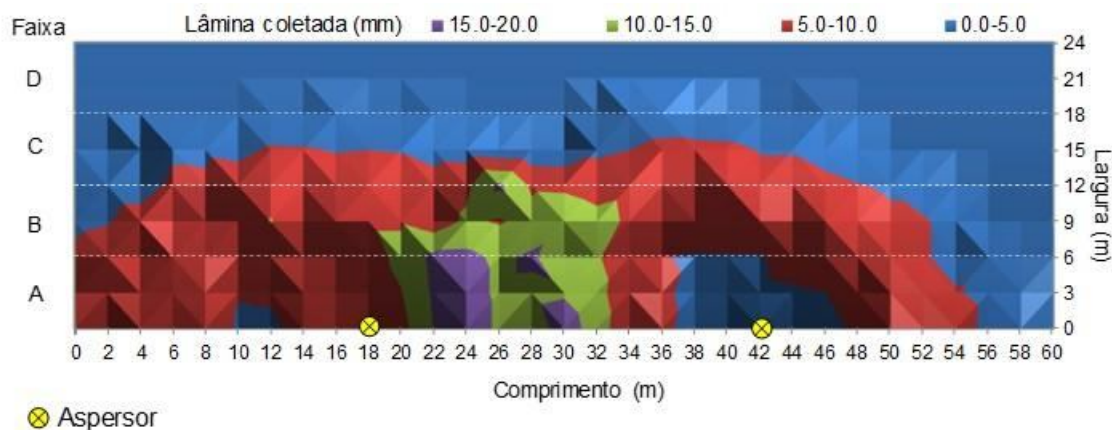


Figura 8. Distribuição espacial das lâminas aplicadas.

O sistema de irrigação empregado foi do tipo aspersão convencional com aspersores minicanhão Plúvio 150 de 1 1/2", espaçados de 24 m. O resultado do teste de uniformidade e as taxas de aplicação e percentuais obtidos para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultado do teste de uniformidade para cada faixa de tratamento de irrigação.

Parâmetro	Tratamentos de Irrigação			
	Faixa A	Faixa B	Faixa C	Faixa D
I_a (mm h ⁻¹)	7,0	6,0	1,5	0
% I_a	100	86	21	0
CUC (%)	60	61	14	-

Obs.: I_a (taxa de aplicação), % I_a (% de água aplicada em relação à faixa A), CUC (coeficiente de uniformidade de Christiansen).

No momento das irrigações, toda necessidade de irrigação (NI) foi aplicada na faixa A (tratamento de 100% da NI), a partir da qual, nas demais faixas B, C e D, foram aplicadas as quantidades de 86, 21 e 0% da NI, respectivamente. A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada a partir da evapotranspiração de referência pelos métodos do tanque classe A na safra 2013/2014 e por Hargreaves & Samani (1985) nas demais safras, onde os dados de climáticos foram obtidos de estação automática localizada a 500 m do experimento. Os coeficientes de cultura utilizados foram os propostos por Allen et al. (2006). A

capacidade de água disponível foi de 25,3 mm, determinada a partir do modelo de van den Berg (2000), com profundidade efetiva do sistema radicular de 40 cm. O manejo da irrigação foi realizado via atmosfera a partir de planilha de dados diários (Santos et al., 2018). Um resumo do período de cultivo e da irrigação, bem como dos coeficientes da cultura utilizados, estão na Tabela 6.

Tabela 6. Resumo geral da duração do ciclo total de cada safra, bem como o período de uso da irrigação e os respectivos coeficientes da cultura adotados.

Safra	Plantio/corte	Corte	Ciclo		Coeficiente da cultura (kc)	Período de irrigação		Duração Dias
			dias	meses		Início	Fim	
2013/2014	20/04/2013	04/07/2014	441	15	kc = 0,40	22/04/2013	14/06/2013	54
					kc = 1,25	15/06/2013	30/04/2014	320
					kc = 0,75	30/04/2014	13/06/2014	45
					Total		419	
2014/2015	04/07/2014	28/07/2015	390	13	kc = 0,40	28/08/2014	17/10/2014	51
					kc = 1,25	18/10/2014	15/06/2015	241
					kc = 0,75	15/06/2015	16/06/2015	2
					Total		294	
2015/2016	28/07/2015	13/06/2016	321	11	kc = 0,40	12/08/2015	31/08/2015	20
					kc = 1,25	01/09/2015	30/04/2016	243
					kc = 0,75	01/05/2016	19/06/2016	50
					Total		313	
2016/2017	13/06/2016	24/07/2017	406	14	kc = 0,40	-	-	-
					kc = 1,25	07/09/2016	08/06/2017	275
					kc = 0,75	-	-	-
					Total		275	

4.5. Variáveis analisadas

As variáveis analisadas após cada colheita foram produtividade de biomassa e de açúcares totais recuperáveis (ATR), sendo as avaliações realizadas somente nas duas linhas centrais (parcela útil), desprezando-se as bordaduras. Todas as colheitas foram manuais, pesando-se todos os colmos da parcela útil com o auxílio de balança de plataforma (Figura 9).

Figura 9. Pesagem das parcelas úteis.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após as pesagens, foram retirados de cada parcela útil cerca de 10 kg de colmos, os quais foram enviados ao Laboratório de Análises Industriais da Alcoeste Bioenergia Fernandópolis S/A, em que foram analisadas as seguintes variáveis: pH, Brix, Pol, Pureza, Fibras, Pol corrigido, Açúcares redutores, Açúcar recuperável total e Açúcar total recuperável (ATR). Tanto a produção de biomassa como de ATR das parcelas úteis foram convertidos em produtividade para serem expressos em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$).

Por problemas técnicos, algumas amostras de cana para a determinação da ATR na safra 2014/2015 foram perdidas, e, portanto, os dados de ATR para esta safra não foram analisados.

4.5. Análise dos resultados

A significância isolada ou combinada dos fatores estudados (irrigação, cultivares e safras) foi determinada pela análise de variância. Quando verificada significância ($p < 0,05$), o teste prosseguiu com a análise de regressão para o fator quantitativo (níveis de reposição da necessidade de irrigação) e com o teste de Tukey para os fatores qualitativos (cultivares de cana e safras).

Quando necessário, realizou-se o desdobramento de um fator dentro dos demais fatores. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Produtividade de biomassa

A resposta da produtividade de biomassa de cana foi significativa para todos os fatores isolados (irrigação, cultivar e safra) e para as interações dos fatores safra com irrigação e safra com cultivar. Não foram observadas diferenças significativas para a interação entre os fatores cultivar e irrigação (Tabela 7).

Tabela 7. Resultado da análise de variância da resposta de produtividade de biomassa em função dos fatores isolados e da interação entre fatores.

FV	GL	SQ	QM	Fc	p
I	3	64491,79	21497,26	27,89	<0,01
V	4	21174,73	5293,68	6,87	<0,01
S	3	484256,10	161418,70	209,43	<0,01
S x I	9	38294,61	4254,95	5,52	<0,01
S x V	12	42811,08	3567,59	4,62	<0,01
V x I	12	10396,63	866,38	1,12	0,34
Média geral = 144,69 t ha ⁻¹		CV = 19,19%			

FV (fontes de variação), I (reposição da necessidade de irrigação), V (cultivar), S (safra), GL (graus de liberdade), SQ (soma de quadrados), QM (quadrado médio), Fc (teste de Fisher), p (nível de significância), CV (coeficiente de variação).

A produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar das cultivares estudadas nas quatro safras (2013-2017) teve melhor resposta com a reposição de 73,7% da necessidade de irrigação (lâmina total média de 849 mm), resultando em produtividade média de 162,11 t ha⁻¹, correspondendo a um incremento médio de 37,2% em relação ao sequeiro (Figura 10).

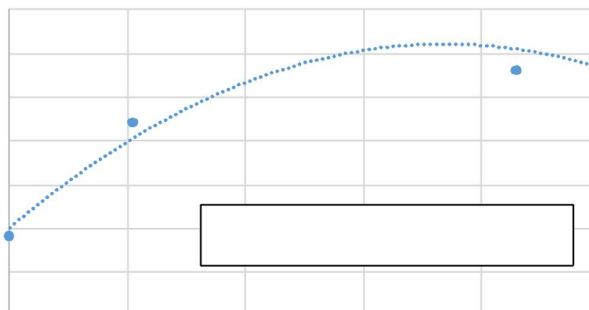


Figura 10. Resposta da produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) no período de 2013 a 2017 ($p < 0,01$).

A produtividade de cana é afetada pelo déficit hídrico devido a interferência nos processos metabólicos e fisiológicos, que prejudicam o crescimento, a fixação de carbono e produção de açúcar. Em trabalho desenvolvido por Silva et al. (2014), verificaram interferência significativa do estresse hídrico na eficiência fotossintética, teor foliar de clorofila, temperatura foliar e no teor relativo de água na folha.

Com relação as cultivares, a de maior produtividade média de biomassa nos tratamentos de irrigação e nas quatro safras, foi a RB867515 com 161,59 t ha⁻¹, que corresponde a um incremento de 15,0% em relação a média das demais cultivares (Figura 11).

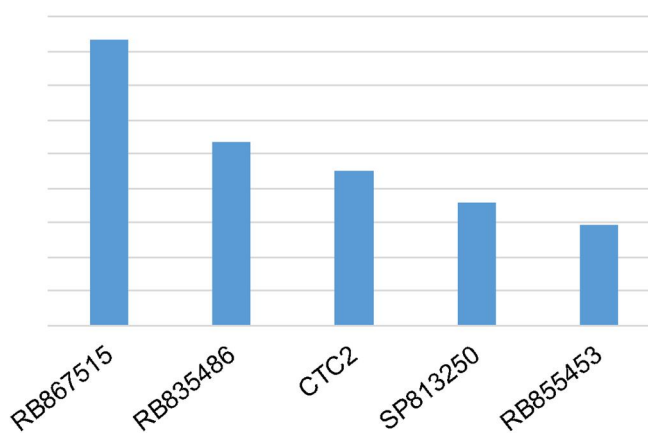


Figura 11. Produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em diferentes cultivares no período de 2013 a 2017 ($p < 0,01$).

Como já esperado, na média dos tratamentos de irrigação e cultivares, a produtividade de biomassa decresceu significativamente ao longo das safras. Na safra 2013/2014 a produtividade média foi de 201,3 t ha⁻¹, a partir da qual, foi reduzindo a taxas de 16,1% de 2013/2014 para 2014/2015, 24,8% de 2014/2015 para 2015/2016 e 35,7% de 2015/2016 para 2016/2017 (Figura 12).

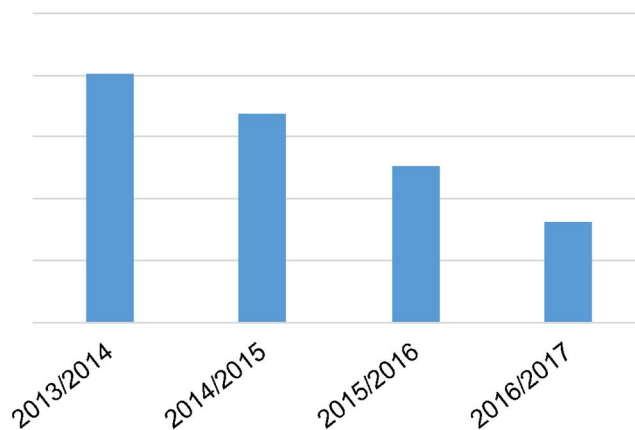


Figura 12. Produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em diferentes safras no período de 2013 a 2017 ($p < 0,01$).

No desdobramento do tratamento de irrigação dentro das safras (Figura 13), de acordo com os modelos, observou-se de maneira geral que tanto a produtividade de biomassa como a necessidade de irrigação (NI) apresentaram redução conforme as safras.

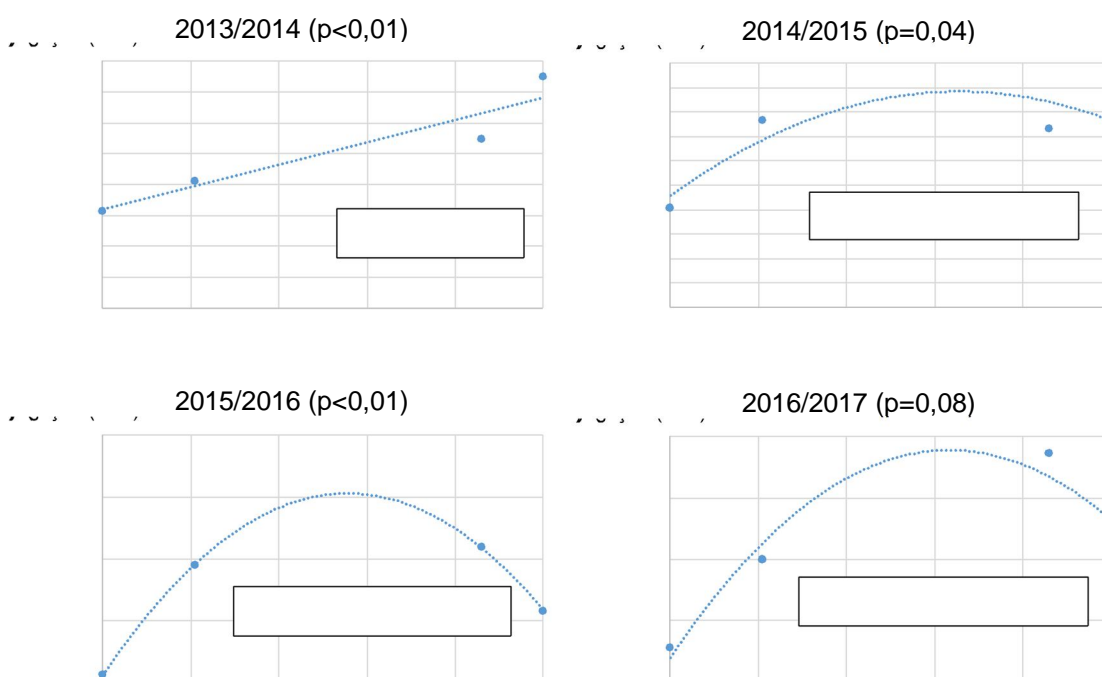


Figura 13. Resposta da produtividade de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) nas safras estudadas.

As maiores produtividades médias de biomassa foram obtidas nas reposições de 100% da NI na safra 2013/2014 (lâmina de 1310 mm), de 65,5% da

NI na safra 2014/2015 (lâmina de 858 mm), de 55,5% na safra 2015/2016 (lâmina de 727 mm) e de 63,3% na safra 2016/2017 (lâmina de 829 mm). As produtividades médias de biomassa, nas mesmas safras, foram de 249,99, 188,50, 161,20 e 97,80 t ha⁻¹, com incrementos 44,4, 29,4, 57,1 e 52,8% em relação ao sequeiro.

Comparando os resultados para cana-planta (safra 2013/2014) com as simulações de Dias e Sentelhas (2018) pelo modelo FAO-AZM, na média de três solos e 12 datas de plantio no Brasil, os resultados deste trabalho foram superiores. Os autores obtiveram para o município de Votuporanga – SP, produtividades de cana-de-açúcar variando de 117 a 203 t ha⁻¹, com o suprimento de deficiências hídricas variando de 20 a 100% (136 a 682 mm).

Já Santana et al. (2017), ao avaliarem características agrônomicas de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação em condições semiáridas, concluíram que a melhor lâmina foi de 1.351 mm, entretanto, com produtividades variando 99,37 a 182,76 t ha⁻¹ após 11 meses do plantio.

Com relação as cultivares, as mesmas se destacaram de forma diferenciada ao longo das safras avaliadas (Figura 14).

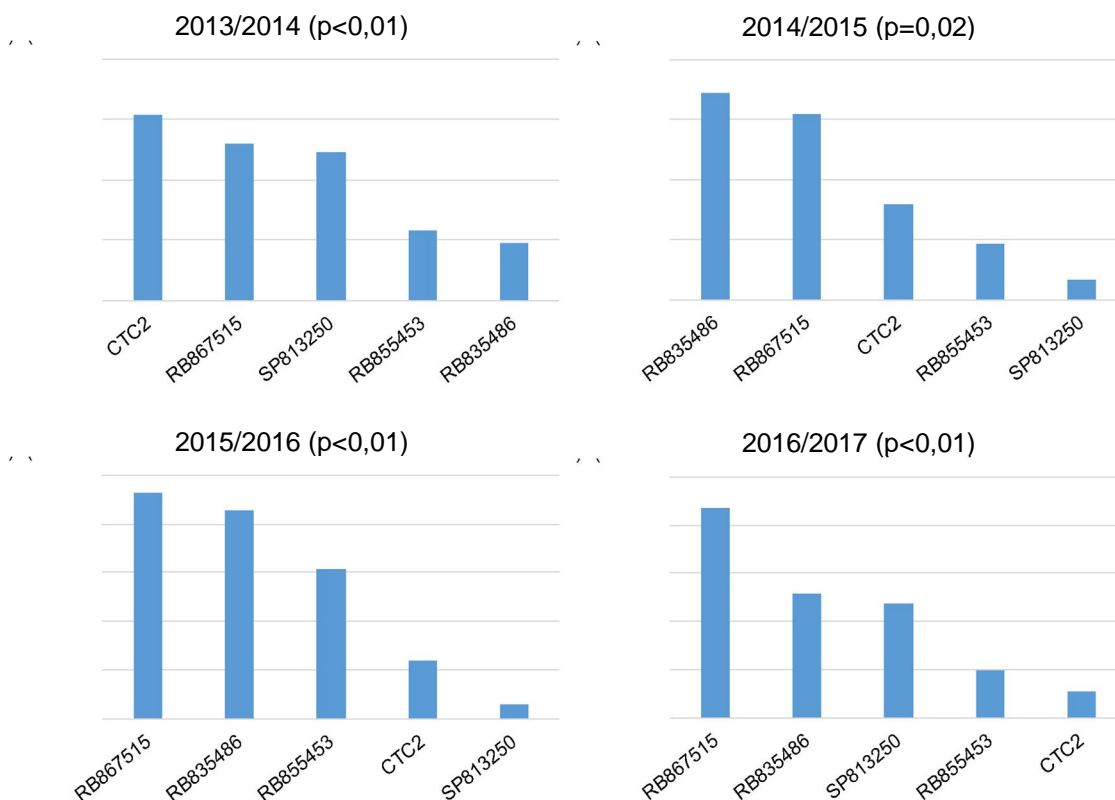


Figura 14. Produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em diferentes cultivares estudadas por safra.

De uma forma geral, as cultivares RB867515 e RB835486 foram as que se mantiveram mais estáveis na produtividade de biomassa. Na safra 2013/2014 as cultivares CTC2, RB867515 e SP813250 proporcionaram produtividade média de 217,91 t ha⁻¹ de biomassa, sendo 23,5% superior as demais.

Na safra 2014/2015 a maior produtividade média de biomassa foi obtida nas cultivares RB835486 e RB867515 (182,78 t ha⁻¹), sendo 14,6% superior as demais. Na safra 2015/2016 a maior produtividade média de biomassa foi de 140,06 t ha⁻¹ das cultivares RB867515, RB835486 e RB855453, com incremento de 30,4% em relação as demais. E na safra 2016/2017 o melhor resultado foi a produtividade média de 91,08 t ha⁻¹ de biomassa para as cultivares RB867515, RB835486 e SP813250, resultando em incremento de 34,8% em relação as demais.

Barbosa et al. (2001), avaliando a produtividade da cultivar RB867515 ao longo de quatro safras em 34 ambientes de 8 locais diferentes do Brasil, obtiveram médias variando de 94,06 a 103,17 t ha⁻¹, resultados estes, bem inferiores a média das quatro safras e tratamentos obtidos para a RB867515 neste trabalho (de 161,57 t ha⁻¹). Este fato demonstra como o suprimento de água via irrigação foi significativo no aumento da produtividade média, onde obteve-se comportamento variado da resposta da produtividade de biomassa em função da irrigação (Figura 15).

Na cultivar CTC2 a maior produtividade média de biomassa foi obtida na reposição de 100% da necessidade de irrigação (lâmina média de 1.152 mm), sendo de 155,71 t ha⁻¹, com incremento de 21,2% em relação ao sequeiro. Na cultivar RB835486 a melhor resposta foi na reposição de 66,6% da necessidade de irrigação (lâmina média de 767 mm), resultando em produtividade média de biomassa de 171,29 t ha⁻¹ e incremento de 46,5% em relação ao sequeiro.

A cultivar RB855453 respondeu com maior produtividade média de biomassa na reposição de 61,4% da necessidade de irrigação (lâmina média de 707 mm), com 163,86 t ha⁻¹ e incremento 55,7% em relação ao sequeiro. Na cultivar RB867515, a maior produtividade média de biomassa foi na reposição de 100% da necessidade de irrigação (lâmina média de 1.152 mm), com 184,16 t ha⁻¹ e incremento de 34,0% em relação ao sequeiro. E na cultivar SP813250 a reposição que proporcionou a maior produtividade média de biomassa foi a de

100% da necessidade de irrigação (lâmina média de 1.152 mm), que resultou em 152,77 t ha⁻¹, correspondendo ao incremento de 25,3% em relação ao sequeiro.

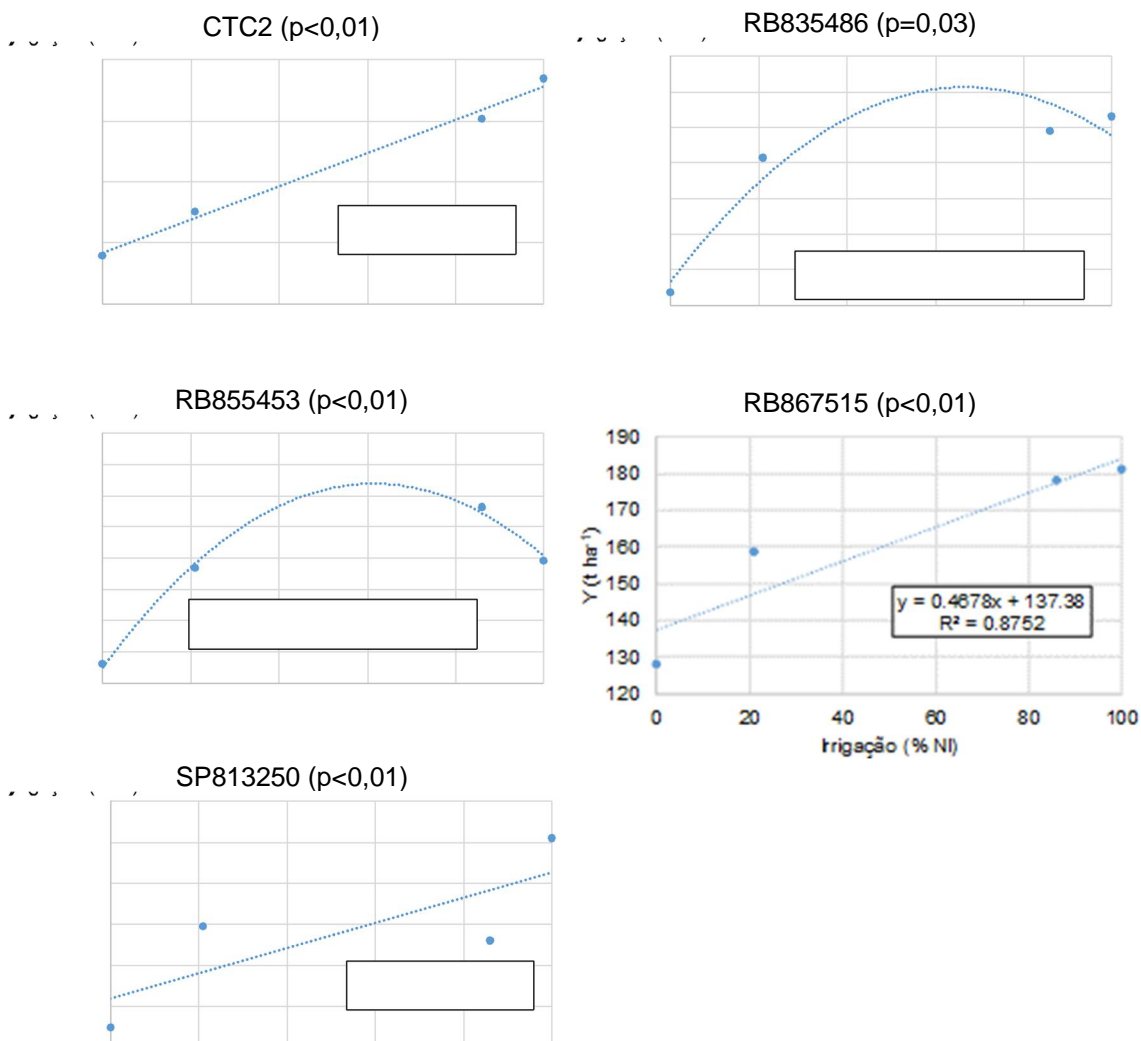


Figura 15. Resposta da produtividade de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) nas cultivares estudadas.

Respostas similares foram verificadas por Santana et al. (2017), onde obtiveram modelos lineares para a resposta da produtividade de biomassa em função da lâmina total aplicada na região de semiárido. Também Silva et al. (2016), que avaliaram o desenvolvimento, produtividade e qualidade de quatro cultivares de cana em Campinas – SP sob irrigação por gotejamento, obtiveram respostas do tipo potência da produtividade de colmos em função da quantidade de água aplicada, com produtividades variando de 86,66 a 141,90 t ha⁻¹ na primeira soca e 183,46 a 241,99 t ha⁻¹ na segunda soca.

Bastos et al. (2015) observaram aumento significativo na produtividade de matéria seca de colmos e de ponteiros de cana até a reposição de 70,22% de água. Os mesmos autores ainda obtiveram aumentos 91,61 t ha⁻¹ na produtividade de colmos e de 8,40 t ha⁻¹ na produtividade de ponteiros com a reposição de 100% de água quando comparado com o sequeiro.

5.2. Produtividade de açúcares totais recuperáveis (ATR)

Com relação a produtividade de açúcares totais recuperáveis (ATR), a exceção da interação entre os fatores cultivar e irrigação, observou-se significância em função de todos os fatores avaliados e suas respectivas interações (Tabela 8).

Tabela 8. Resultado da análise de variância da produtividade de açúcares totais recuperáveis em função dos fatores isolados e da interação entre fatores.

FV	GL	SQ	QM	Fc	p
I	3	1235,44	411,81	15,83	<0,01
V	4	592,74	148,18	5,70	<0,01
S	2	11597,45	5798,73	222,88	<0,01
S x I	6	1086,61	181,10	6,96	<0,01
S x C	8	962,59	120,32	4,63	<0,01
C x I	12	237,73	19,81	0,76	0,69
Média geral = 144,69 t ha ⁻¹		CV = 19,19%			

FV (fontes de variação), I (reposição da necessidade de irrigação), C (cultivar), S (safra), GL (graus de liberdade), SQ (soma de quadrados), QM (quadrado médio), Fc (teste de Fisher), p (nível de significância), CV (coeficiente de variação).

A melhor resposta da produtividade de açúcares média de todas as safras e cultivares em função da reposição da necessidade de irrigação foi linear ($p < 0,01$), sendo que a reposição de 100% da necessidade de irrigação (24,90 t ha⁻¹), equivalente a uma lâmina total média de 1.152 mm, resultando em aumento relativo de 30,5% em relação ao sequeiro (19,09 t ha⁻¹) (Figura 16).

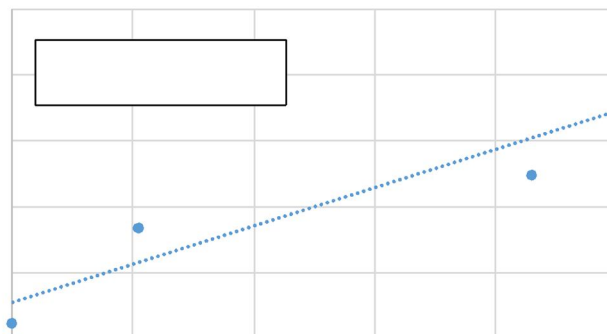


Figura 16. Resposta linear da produtividade média de açúcares totais recuperáveis de cana (ATR) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) no período de 2013 a 2017 ($p < 0,01$).

Na média das safras e reposição da necessidade de irrigação (Figura 17), a cultivar RB867515 se destacou com a maior produtividade de açúcares ($25,7 \text{ t ha}^{-1}$), sendo 21,3% maior que a média das demais cultivares ($21,2 \text{ t ha}^{-1}$). Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2016), onde observaram que a irrigação de salvamento em vários níveis, variando de 0 a 75 mm na cultivar SP83-5073 em Quirinópolis – GO, resultou em resposta linear da produtividade de açúcar em função das lâminas de irrigação. A maior produtividade de açúcar foi $18,3 \text{ t ha}^{-1}$ na lâmina de 75 mm, resultando em aumento de 30% em relação ao sequeiro.

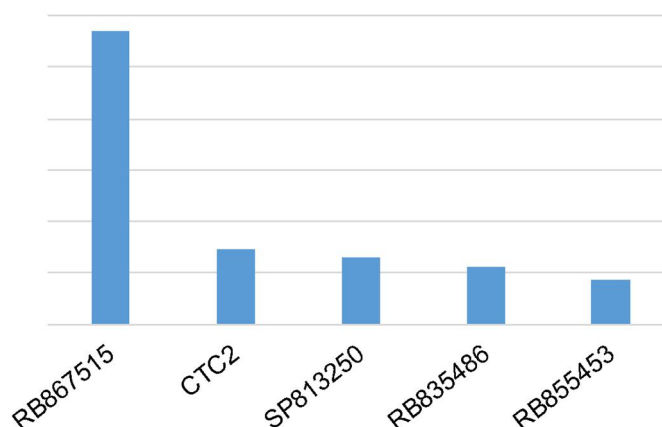


Figura 17. Produtividade média de açúcares totais recuperáveis (ATR) de cana-de-açúcar (Y) em diferentes cultivares no período de 2013 a 2017, com nível de significância $p < 0,01$.

Como também já esperado, na média das cultivares e reposições da necessidade de irrigação, a primeira safra 2013/2014 foi a de maior produtividade de açúcares ($32,7 \text{ t ha}^{-1}$), sendo 60,3% e 146,8% maior, respectivamente, que nas safras 2015/2016 e 2016/2017 (Figura 18). A produtividade média na safra 2015/2016 ($20,38 \text{ t ha}^{-1}$) foi 53,9% maior que a safra 2016/2017 ($13,24 \text{ t ha}^{-1}$).

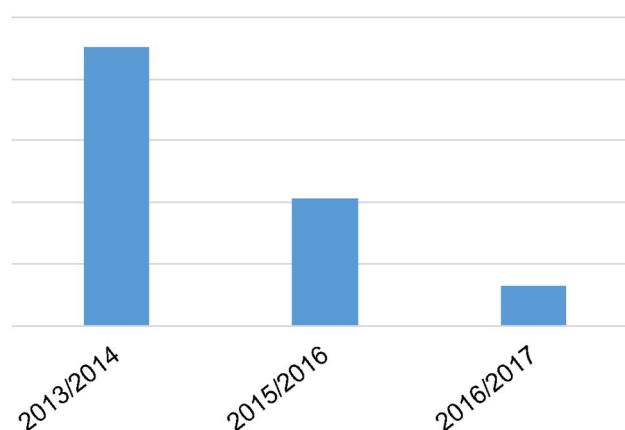


Figura 18. Produtividade média de biomassa de açúcares totais recuperáveis (ATR) em diferentes safras no período de 2013 a 2017, com nível de significância $p < 0,01$.

A resposta da produtividade de açúcares, por safra, em função da reposição da necessidade de irrigação está apresentada na Figura 19, em que a melhor resposta foi linear nas safras 2013/2014 ($p < 0,01$) e 2016/2017 ($p = 0,02$) e quadrática na safra 2015/2016 ($p < 0,01$).

Na safra 2013/2014 a maior produtividade média de açúcares foi obtida na reposição de 100% da necessidade de irrigação ($37,61 \text{ t ha}^{-1}$) sendo 37,3% maior que o sequeiro ($27,39 \text{ t ha}^{-1}$), com lâmina de irrigação correspondente a 1.310 mm. Já na safra 2015/2016 a maior produtividade média foi com a reposição de 57,4% da necessidade de irrigação ($25,1 \text{ t ha}^{-1}$), que corresponde a lâmina total média de 653 mm, resultando em aumento de 51,6% em relação ao sequeiro. E na safra 2016/2017, também a reposição de 100% da necessidade de irrigação ($15,04 \text{ t ha}^{-1}$) proporcionou aumento de 33,1% em relação ao sequeiro, com lâmina de irrigação correspondente a 1.310 mm.

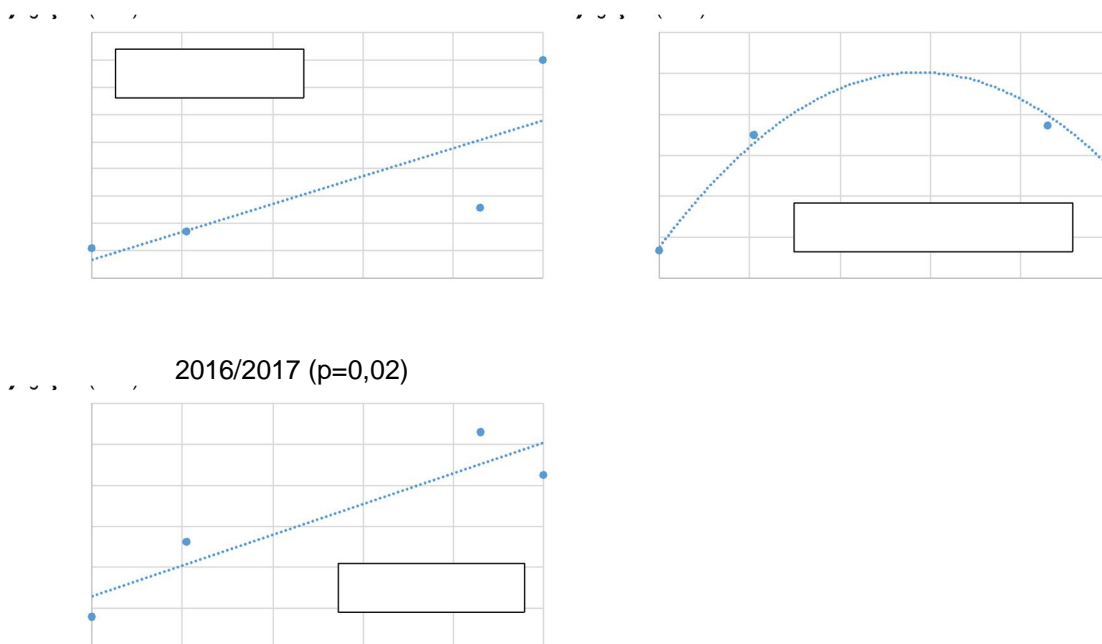


Figura 19. Resposta da produtividade de açúcares totais recuperáveis de cana (ATR) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) nas safras estudadas.

Os desempenhos de produtividade média de açúcares das cultivares nas safras estão apresentados na Figura 20, em que na safra 2013/2014, as cultivares CTC2, RB867515 e SP813250 apresentaram produtividade média de 35,38 t ha⁻¹, sendo 23,7% superior aos das cultivares RB855453 e RB835486 (produtividade média de 28,60 t ha⁻¹).

Na safra 2015/2016 as cultivares RB867515, RB835486 e RB855453 foram as de melhor desempenho da produtividade média (22,61 t ha⁻¹), com incremento de 32,9% em relação aos das cultivares CTC2 e SP813250 (17,02 t ha⁻¹). E na safra 2016/2017 não foram observadas diferenças significativas (p=0,06) entre as produtividades médias das cultivares.

2013/2014 (p<0,01)

2015/2016 (p<0,01)

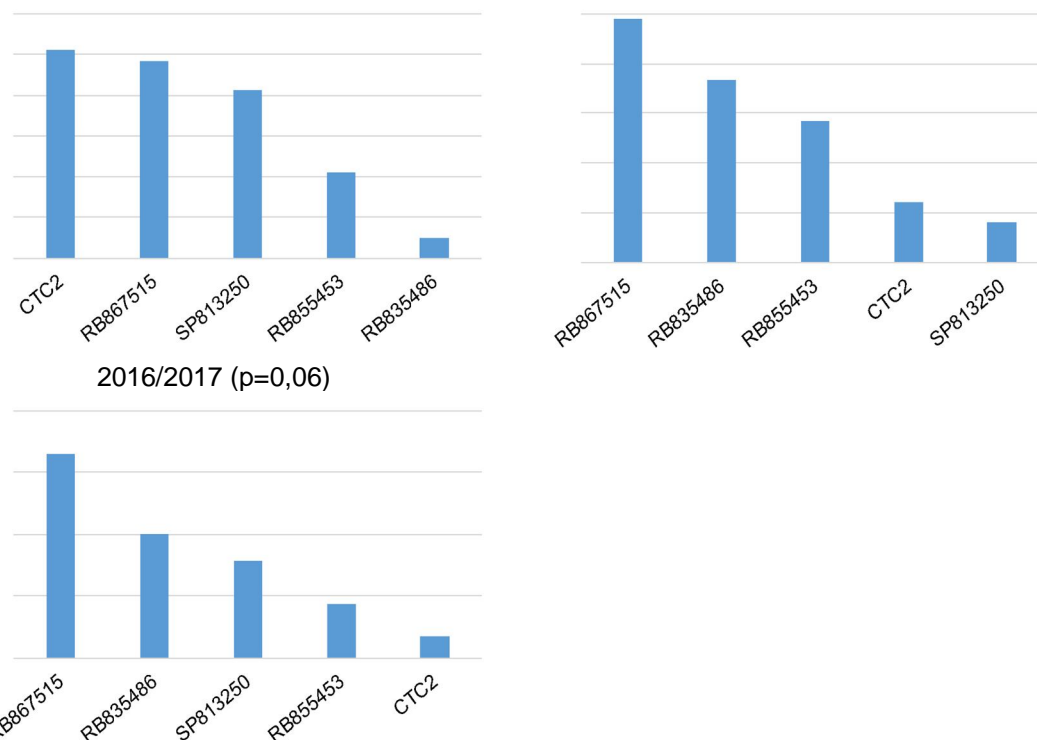


Figura 20. Produtividade média de biomassa de cana-de-açúcar (Y) em diferentes cultivares estudadas por safra.

Com relação a resposta da produtividade média de açúcares para cada cultivar (Figura 21), todas foram lineares com alta significância ($p < 0,05$) e com máxima resposta na reposição de 100% da necessidade de irrigação (lâmina média de 1.152 mm).

Nas cultivares, a maior produtividade média foi de 24,37 t ha⁻¹ para a CTC2, 23,54 t ha⁻¹ para a cultivar RB835486, 23,81 t ha⁻¹ para a cultivar RB855453, 29,20 t ha⁻¹ para a cultivar RB867515, 23,58 t ha⁻¹ para a cultivar SP813250, proporcionando incrementos de 33,0%, 27,0%, 34,3%, 33,1% e 24,8%, respectivamente, em relação ao sequeiro.

CTC2 ($p < 0,01$)

RB835486 ($p = 0,01$)

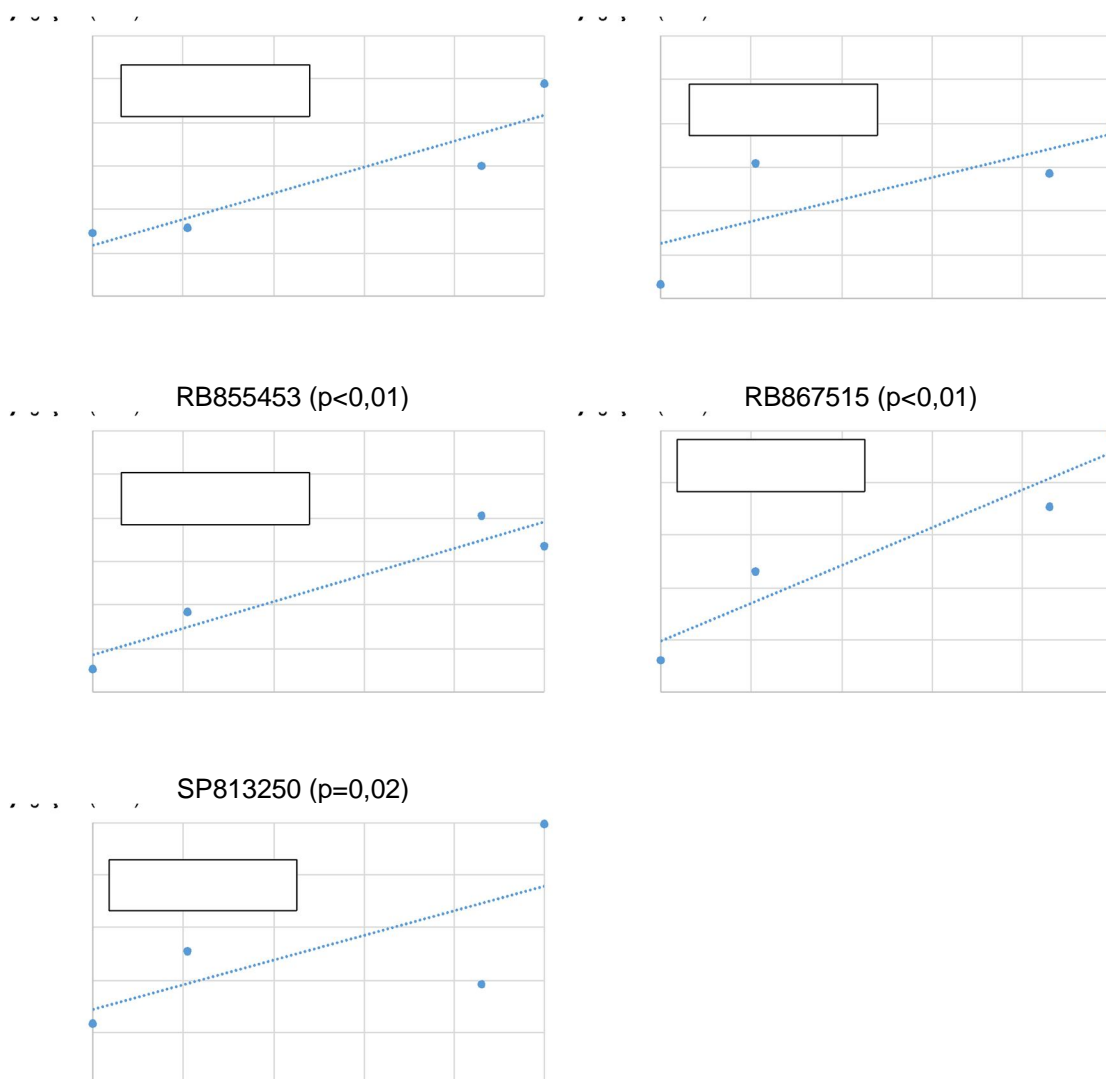


Figura 21. Resposta da produtividade de açúcares totais recuperáveis de cana (Y) em função da reposição da necessidade de irrigação (NI) nas cultivares estudadas.

5.3. Manejo da irrigação em cana-de-açúcar

De acordo com o resultado do manejo da irrigação ao longo das quatro safras (Figura 22 e Tabela 9), em que observa-se durante as safras, os totais variando de 1.755 a 1.875 mm de evapotranspiração da cultura, de 1.325 a 1.762 mm de precipitação, de 1026 a 1310 mm de necessidade de irrigação, além de um tempo total de irrigação variando de 146 a 189 horas e um total de 79 a 112 irrigações.

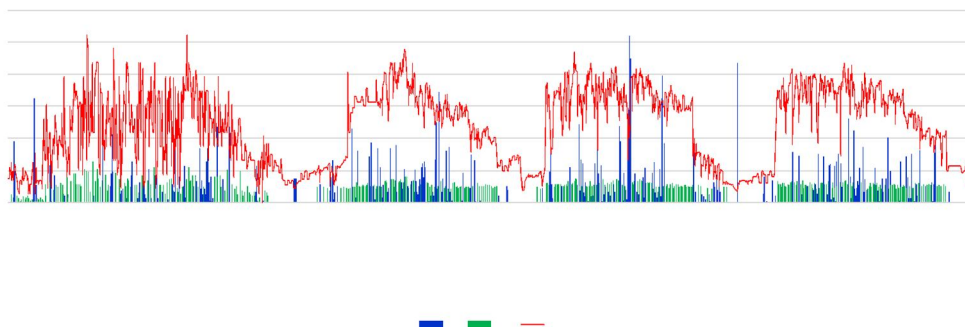


Figura 22. Resultado do manejo da irrigação nas quatro safras avaliadas, sendo ETo a evapotranspiração de referência, ETc a evapotranspiração da cultura, P a precipitação, NI a necessidade de irrigação, TI o tempo de irrigação.

Tabela 9. Resultado do manejo da irrigação nas quatro safras avaliadas.

Safra	ETo (mm)	ETc (mm)	P (mm)	L (mm)	TI (h)	Irrigações
2013/2014	1.724	1.875	1.325	1.310	189	112
2014/2015	1.777	1.755	1.440	1.026	146	79
2015/2016	1.560	1.762	1.762	1.138	159	85
2016/2017	1.794	1.928	1.483	1.135	165	86
Total	6.855	7.320	6.010	4.609	660	362
Média	1.714	1.830	1502	1.152	165	91

A maior quantidade de necessidade de irrigação observada na primeira safra em relação às outras, pode ser atribuída ao maior tempo total do ciclo da primeira safra (419 dias) que é bem maior que os das demais safras (média de 294 dias), além do menor total precipitado (1.325 mm) quando comparado com a média das demais safras (1.502 mm) e o método de determinação de evapotranspiração de referência que foi pelo tanque classe A..

Outro fator relevante, a ser destacado, é que a capacidade média de água disponível até a profundidade de 40 cm de apenas $0,63 \text{ mm cm}^{-1}$, associada às altas precipitações concentradas em curtos períodos (57,0% do total nos meses de dezembro a março), resultou em percolação média abaixo da zona radicular efetiva de 46% da água precipitada, ocasionando maior frequência de irrigações.

Pelos quantitativos de água aplicada e percentuais de reposição da necessidade de irrigação por aspersão para conseguir a máxima produtividade média de biomassa e de açúcares ao longo das quatro safras estudadas, foi possível confeccionar a Tabela 10.

Tabela 10. Lâminas aplicadas via aspersão para a máxima produtividade de biomassa e de açúcares nas cultivares, precipitação e evapotranspiração da cultura na média das quatro safras.

Lâmina (mm)					Precipitação (mm)	Evapotranspiração da cultura (mm)
Máxima produtividade média de biomassa						
CTC2	RB835486	RB855453	RB867515	SP813250		
1.152	767	707	1.152	1.152		
1.221					1.502	1.830
Máxima produtividade média de açúcares						
CTC2	RB835486	RB855453	RB867515	SP813250		
1.152						

As lâminas médias requeridas, por safra, para a máxima produtividade média de biomassa variaram de 707 mm, para a cultivar RB855453, a 1.152 mm para as cultivares CTC2, RB867515 e SP813250, proporcionando aumentos relativos de 21,2 a 55,7% na produtividade de biomassa. Já a máxima produtividade de açúcares, em todas as cultivares na média das quatro safras, foi alcançada com a lâmina 1.152 mm, com incrementos variando de 24,8% a 34,3% dependendo da cultivar avaliada.

Estes resultados corroboram com as simulações realizadas por Dias e Sentelhas (2018), obtendo déficits hídricos variando de 455 a 1.428 mm dependendo da região brasileira avaliada. Os mesmos autores ainda concluem que a produtividade de cana-de-açúcar no Brasil pode ser significativamente aumentada nas regiões tradicionais e em expansão, onde essa importante cultura de bioenergia é cultivada ou está sendo introduzida.

Portanto, os resultados deste trabalho demonstram o alto potencial que a técnica de irrigação por aspersão tem para incrementar a produtividade de cana no Noroeste Paulista, que ao longo dos últimos anos vem decaindo, tendo como um dos principais fatores a irregularidade na distribuição das precipitações durante o ano.

6. CONCLUSÕES

Para todas as cultivares, a máxima produtividade de açúcares foi alcançada com a reposição de 100% da necessidade de irrigação, proporcionando incrementos de 33,0%, 27,0%, 34,3%, 33,1% e 24,8%, respectivamente, para as cultivares CTC2, RB835486, RB855453, RB867515 e SP813250, em relação ao sequeiro.

A cultivar de melhor desempenho médio nas quatro safras foi a RB867515, que proporcionou incremento de 15,0% na produtividade de biomassa e 21,3% na produtividade de açúcares em relação as demais cultivares.

As maiores produtividades médias de biomassa de cana-de-açúcar irrigadas por aspersão no Noroeste Paulista foram obtidas com reposições de 100% da necessidade de irrigação nas cultivares CTC2, RB867515 e SP813250, de 66,6% na cultivar RB835486 e de 61,4% na cultivar RB855453. Em relação ao sequeiro, a irrigação por aspersão proporcionou incrementos variando de 21,2 a 55,7% na produtividade média de biomassa dependendo da cultivar estudada.

As lâminas médias requeridas nas safras, visando atingir a máxima produtividade de biomassa, foram de 1.152 mm para as cultivares CTC2, RB867515 e SP813250, de 767 mm para a cultivar RB835486 e de 707 mm para a cultivar RB855453. Para a máxima produtividade de açúcares, em todas as cultivares estudadas, a lâmina média foi de 1.152 mm.

Diante do exposto, considera-se que a irrigação por aspersão é uma ótima alternativa para incrementar, significativamente, tanto a produtividade de biomassa como de açúcares de cana na região Noroeste Paulista.

REFERÊNCIAS

- AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Variedades de Cana-de-açúcar**. Disponível em < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_42_1110200717570.html > Acesso em agosto de 2018.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiration del cultivo**: guias para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos. Roma: FAO, 298 p, 2006.
- ARAÚJO, J.L.P. **A região semiárida brasileira. Produção de caprinos e ovinos no semiárido, 2011.**
- BARBOSA, M; SILVEIRA, L; OLIVEIRA, M; SOUZA, V; RIBEIRO, S. **RB867515 Sugarcane cultivar**. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v 1, n 4, p. 437 – 438, 2001.
- BASTOS, A. V. S.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; SILVA, E. C. **Productivity and Dry Matter Accumulation of Sugarcane Crop under Irrigation and Nitrogen Application at Rio Verde GO, Brazil**. *American Journal of Plant Sciences*, v.6, pp. 2374-2384, 2015.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. **Balanco hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 23-28, 2000.
- CONAB, Companhia Nacional Abastecimento. **Primeiro levantamento da cana aponta nova queda do açúcar e aumento do etanol**. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2347-primeiro-levantamento-da-cana-aponta-nova-queda-do-acucar-e-aumento-do-etanol> > Acesso em agosto de 2019.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**. Cana-de-açúcar. V.4, Nº 3, Brasília, 2017.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEIREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. B. **Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de adubação de cobertura**. Revista Agronômica de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283–288, 2006.
- DIAS, H. SENTELHAS, P. **Dimensioning the impacto f irrigation on Sugarcane Yield in Brazil**. *Society for Sugar Research & Promotion*, 2018.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas, estudos FAO irrigação e drenagem**. Série n.33, p. 42-53, 1979.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; FREITAS, H. A. C. **Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô central, em cultura de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel.** *Engenharia Rural*, Piracicaba, v.5, n.1, p.34-53, 1994.

GAVA, G; SILVA, M; SILVA, R; JERONIMO, E; CRUZ, J; KOLLN, O. **Produtividade de três cultivares de cana – de – açúcar sob manejos de sequeiros e irrigado por gotejamento.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 3, 2009.

GONÇALVES, D. B. **Considerações sobre a expansão recente da lavoura canavieira no Brasil.** *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 39, n. 10, p. 70-82, out. 2009.

HARGREAVES, G. H., SAMANI, Z. A., **Reference crop evapotranspiration from temperature.** *Transaction of ASAE* 1(2):96-99, 1985.

IEA, Instituto de Economia Agrícola. **Previsões e estimativas das safras agrícolas do estado de São Paulo, 2º levantamento, Ano Agrícola 2017/2018 e Levantamento Final, Ano Agrícola 2016/2017, Novembro de 2017.** In: *Análise de Indicadores do Agronegócio*, v. 13, nº 02. Disponível: <http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-06-2018.pdf>. Acessado em 10 de Janeiro de 2019.

LIMA, F. B. de; VANZELA, L. S.; MARINHO, M. A.; SANTOS, G. O. **Balanço hídrico climatológico normal ponderado para o município de Fernandópolis - SP.** In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Belo Horizonte, MG, 2009.

MANTOVANI, E. C.; SALASSIER, B.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos.** Viçosa: UFV, 2006.

MATIOLI, C. S. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo.** 1998. 122 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

NYKO, D. VALENTE, M.S. MILANEZ, A.Y. TANAKA, A.K.R. RODRIGUES, A.V.P. **A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?** *Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social*, Bioenergia. Brasília, 2013.

OLIVEIRA, P. F. M.; SOARES, R. A. B.; RESENDE, N. C.; CARDOSO, H. R.; ROSENFELD, U. & MACHADO, V. F. **Efeito da palha sobre a produtividade da cana-de-açúcar submetida a lâminas crescentes de irrigação de brotação.** In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do BrasilSTAB, 7, 1999.

PROENÇA, E.R. **Concentração, integração horizontal e vertical das usinas canavieiras.** Tese. Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, São Paulo, 2012.

RESENDE, R. S.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Cana-de-açúcar: irrigação**. Brasília: EMBRAPA, 2007.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. **Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo**. *Bragantia*, v.66, p.711-720, 2007.

SANTANA, P; ASPIAZÚ, I; COSTA. E; PINHEIRO.D; TEIXEIRA, M; SILVA, J; SANTOS, H; **Agronomical performance of sugarcane varieties in function of diferente irrigation depths in semi – arid conditions**. *Journal of experimental agriculture international*, 2017.

SANTOS, M. A. L.; FRIZZONE, J. A. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) colhida no mês de janeiro: um modelo de análise de decisão para o Litoral Sul do Estado de Alagoas**. *Irriga*, Botucatu, v. 11, n.3, p. 339-355, 2006.

SANTOS, M.C.B; GUIMARÃES, D. P; LANDAU, E.C; ROSA; K.K.P. **Diagnóstico da agricultura irrigada no extremo oeste baiano**. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20. 2017. Anais... Juazeiro-Petrolina: SBA, 2017.

SANTOS. H; **Evapotranspiração de referência para projeto de irrigação no Brasil utilizando o produto MOD16**. *Dissertação – Universidade Federal de Viçosa*. Viçosa, 2018.

SCHWARTZ, S. B. **Segredos internos: engenhos e escravos na sociedade colonial 1550 – 1835**. *Tradução Laura Teixeira Motta*. Ed. Companhia da Letras, 1988.

SEGATO, S. V; PEREIRA, L. L. **Colheita da cana-de-açúcar: corte manual**. In: SEGATO, S. V. ET AL. *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: CP2, 2006.

SILVA, A; PIRES,R; RIBEIRO, R; MACHADO, E; BLAIN, G; OHASHI, A; **Development, yield and quality atributes of sugarcane cultivars fertigated by subsurface drip irrigation**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v 20, n 6, p. 525 – 532, 2016.

SILVA, M; JIFON, J; SILVA, J; SANTOS, C; SHARMA, V. **Realationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water déficit**. *Journal of Agricultural Science*, 2014.

SILVA, N.F.; CUNHA, F.N; TEIXEIRA, M.B; SOARES, F.A.L; SANTOS, C.C; FILHO, F.R.C; SILVA, E.C; MORAIS, W.A. **Sugarcane cultivation submitted to water replacenment via irrigation bar**. *Africn Journal of Agricultural Research*, v. 11, 2016.

SOUZA, A, P; GRANDIS, A; LEITE, D.C.C; BUCKERIDGE, M.S. **Sugarcane as a Bioenergy Source: History , Performance and Perspectives for Second – Generation Bioethanol.** *Springer Science + Business Media*, New York, 2013.

SOUZA, R. A. **Influência da irrigação por aspersão em variedades de cana – de – açúcar no noroeste paulista** – Dissertação – Universidade Camilo Castelo Branco. Fernandópolis, 2014.

UDOP, União dos produtores de bioenergia. **A história da cana – de – açúcar da antiguidade aos dias atuais.** Disponível em <http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993> Acesso em agosto de 2018.

ÚNICA, **União da Indústria de Cana – de – açúcar.** UnicaData, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.unicaData.com.br>. Acessado em: 15 de outubro 2018.

VAN DEN BERG M, BURROUGH P, DRIESSEN P. **Uncertainties in the appraisal of water availability and consequences for simulated sugarcane yield potentials in São Paulo State, Brazil.** *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2000.

ZINGARETTI, S. M.; RODRIGUES F. A.; GRAÇA, J. P.; PEREIRA, L. M.; LOURENÇO, M. V. **Sugarcane responses at water deficit conditions.** Disponível em < <https://www.intechopen.com/books/water-stress/sugarcane-responses-at-water-deficit-conditions-> > Acesso em junho de 2018.