

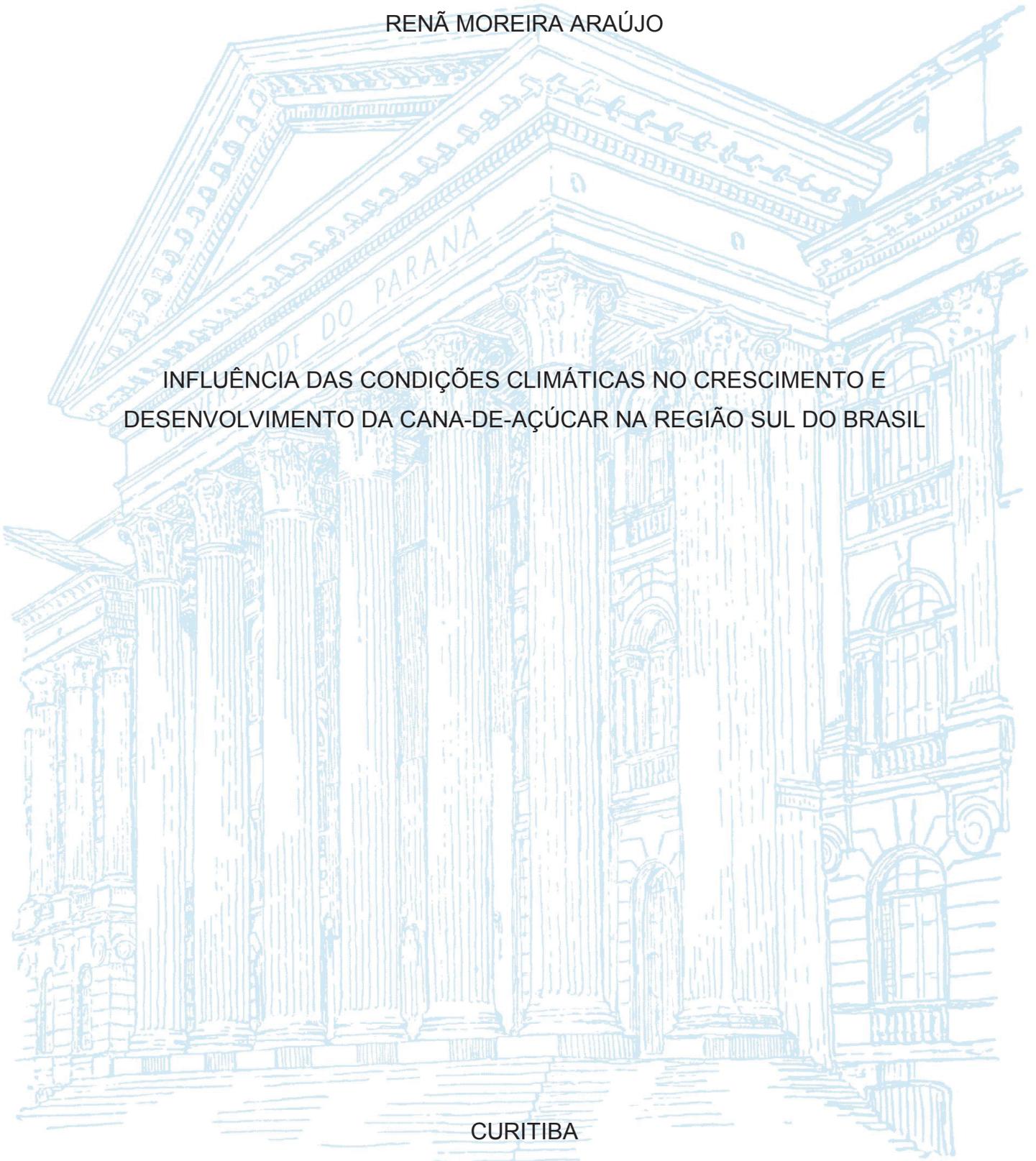
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENÃ MOREIRA ARAÚJO

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO E  
DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO SUL DO BRASIL

CURITIBA

2019



RENÃ MOREIRA ARAÚJO

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO E  
DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto de Oliveira

CURITIBA

2019

Araújo, Renã Moreira  
AR663i      Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar na região sul do Brasil / Renã Moreira Araújo. - Curitiba, 2019.  
101 p.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - (Produção Vegetal).  
Orientador: Ricardo Augusto de Oliveira

1. Cana-de-açúcar. 2. Plantas – Efeito da radiação. 3. Climatologia agrícola. 4. Brasil, Sul. I. Oliveira, Ricardo Augusto de. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDU 633.61



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA  
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **RENÂ MOREIRA ARAÚJO** intitulada: **INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO SUL DO BRASIL**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua           **APROVAÇÃO**           no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 14 de Março de 2019.



RICARDO AUGUSTO DE OLIVEIRA  
Presidente da Banca Examinadora.



SANTIAGO VIANNA CUADRA  
Avaliador Externo (EMBRAPA)



SERGIO DELMAR DOS ANJOS E SILVA  
Avaliador Externo (EMBRAPA)



BRUNO PORTELA BRASILEIRO  
Avaliador Interno (UFPR)



EDELCLAITON DAROS  
Avaliador Externo (UFPR)

Dedico ao meu grande amigo, Alexandre Ricardo da Silva.

*In memoriam.*

## **AGRADECIMENTOS**

Este é o momento mais agradável deste trabalho. A sensação de dever cumprido. Agradeço as forças que Deus me deu, nas exaustivas horas do silêncio do trabalho.

Agradeço a minha família: minha mãe, Silvana Ap. de Araújo, ao meu melhor amigo, meu pai, Leocides M. Araújo, e as minhas irmãs, Aline Ap. de Araújo e Héllen Ap. de Araújo, pela fé e credibilidade em minha pessoa. Agradeço a minha namorada, pela paciência e apoio, Andriele Mendes Passos.

Sou grato aos orientadores, Professor Dr. Ricardo Augusto de Oliveira, e Pesquisador Dr. Santiago Vianna Cuadra, pelos ensinamentos, pelo tempo dedicado e principalmente pelos resultados atingidos.

Sou grato aos ensinamentos e experiências que me foram passados pelo Pesquisador Dr. Sérgio Delmar dos Anjos e Silva, Professor Dr. Bruno Portela Brasileiro, Professor Dr. Edelclaiton Daros e Pesquisador Dr. Heroldo Weber.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Embrapa Clima Temperado (ECT), a Petrobrás, à Universidade Federal do Paraná (UFPR), a Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura (FUNPAR) e à Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), por todo suporte, financiamento e oportunidades.

Agradecimento mais que especial aos técnicos e funcionários da equipe RIDESA-PR, pelas jornadas de trabalho e comprometimento com os experimentos realizados.

O meu cordial obrigado aos Engenheiros Ms. Adilson Härter e Guilherme Souza Berton, ao Fábio Vieira Rodrigues, Alessandro Aparecido Garcia, José Batista Primo, Ailton José da Silva, Luiz Carlos Honorato, Alexandro Carlos Rizato e Vera Lúcia da Silva.

"Não sou obrigado a vencer,  
mas tenho o dever de ser verdadeiro.  
Não sou obrigado a ter sucesso, mas  
tenho o dever de corresponder à luz  
que tenho." (Abraham Lincoln)

## RESUMO

Estudos que caracterizem as exigências climáticas e a relação com o crescimento e desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar são importantes para a otimização do manejo da cultura nos distintos ambientes de produção. Para obtenção de altos rendimentos, o ciclo da cultura deve ser ajustado aos períodos em que as necessidades de luz e água sejam supridas. Sincronizar as melhores condições meteorológicas de uma determinada região com a fase de crescimento vegetativo pleno da cultura pode maximizar a produtividade. Neste contexto, a avaliação da radiação solar no dossel é fundamental para a caracterização do crescimento e desenvolvimento, uma vez que a radiação interceptada pelo dossel é uma das variáveis de maior importância para crescimento e desenvolvimento das plantas. Os objetivos deste trabalho foram avaliar: as condições de temperatura e radiação solar que a variedade RB867515 necessitou para atingir o máximo número de perfilhos durante os ciclos avaliados; a influência das condições meteorológicas no crescimento de diferentes genótipos de cana-de-açúcar em ciclo de cana planta e cana soca; a influência das condições meteorológicas na produtividade de três épocas de plantio e três épocas colheita de variedades de cana-de-açúcar. O estudo foi conduzido na Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar, da Universidade Federal do Paraná, integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético, nas condições meteorológicas das safras 2016/2017 e 2017/2018. Foram avaliadas as variedades RB036066, RB867515, RB966928 e o clone PRBIO588 de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) utilizando-se o delineamento de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Realizou-se medidas biométricas e de massa seca ao longo dos dias após o plantio e corte e, monitoramento de variáveis meteorológicas. Em cana planta, o genótipo RB966928 apresentou o maior índice de área foliar, a maior taxa de crescimento da cultura e produtividade. O clone RBIO588 apresentou o menor índice de área foliar e exigiu maior acúmulo de graus-dias para elevar a taxa de crescimento da cultura. A máxima fração de interceptação de radiação da variedade RB867515 não indicou necessariamente maior IAF e produtividade. Em ciclo de cana soca, o genótipo PRBIO588 apresentou o maior IAF devido ao número de colmos, mas foi o menos produtivo devido a massa individual de colmos. A variedade RB867515 foi a mais produtiva em soca. A eficiência do uso de radiação solar das variedades foi maior no ciclo de cana soca, como consequência das condições meteorológicas mais adequadas ao crescimento e desenvolvimento da cultura. A soma térmica e condições de radiação solar global do plantio de primavera foram mais adequadas para brotação e perfilhamento, proporcionando maior NCM quadrado nas variedades RB036066 e RB867515. Estas variedades apresentaram maior plasticidade, assim, quanto maior o número de graus-dias e radiação solar acumulada durante o ciclo, mais elevado foi a massa média do colmo. Plantios na primavera atrasaram a maturação na colheita de abril. Nas épocas de colheita, os melhores rendimentos de TAH da variedade RB966928 foi do plantio de outono. Os mais elevados rendimentos de TAH ocorreram na colheita de outubro.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Eficiência no uso de radiação. Graus-dias. Exigências climáticas. Perfilhamento.

## ABSTRACT

Studies that characterize climatic requirements and the relationship with the growth and development of sugarcane varieties are important for the optimization of crop management in different production environments. To obtain high yields, the crop cycle should be adjusted to the periods when the light and water needs are met. Synchronizing the best weather conditions of a given region with the full vegetative growth phase of the crop can maximize productivity. In this context, the evaluation of the solar radiation in the canopy is fundamental for the characterization of growth and development, since the radiation intercepted by the canopy is one of the most important variables for growth and development of the plants. The objectives of this work were to evaluate: the temperature and solar radiation conditions that the variety RB867515 needed to reach the maximum number of tillers during the evaluated cycles; the influence of meteorological conditions on the growth of different sugarcane genotypes in cane plant and cane ratoon cycle; the influence of meteorological conditions on the yield of three planting and three harvest seasons of sugarcane varieties. The study was conducted at the Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar of the Universidade Federal Paraná, part of the Interuniversity Network for the Development of the Sugarcane Sector, under the meteorological conditions of the 2016/2017 and 2017/2018 harvests. The varieties RB036066, RB867515, RB966928 and the clone PRBIO588 of sugarcane (*Saccharum* spp.) were evaluated using a randomized block design in a plot scheme subdivided in time. Biometric and dry mass measurements were carried out over the days after planting and cutting and monitoring of meteorological variables. In cane plant, genotype RB966928 presented the highest index of leaf area, the highest rate of growth of the crop and productivity. The clone RBIO588 presented the lowest index of leaf area and required a greater accumulation of degrees days to increase the growth rate of the crop. The maximum radiation interception fraction of the RB867515 variety did not necessarily indicate higher LAI and productivity. In the cane ratoon cycle, the PRBIO588 genotype showed the highest LAI due to the number of stalks, but it was the least productive because of the individual stem mass. The RB867515 variety was the most productive in ratoon. The efficiency of the use of solar radiation of the varieties was greater in the cycle of cane ratoon, as a consequence of the meteorological conditions more appropriate to the growth and development of the culture. The thermal sum and global solar radiation conditions of spring planting were more suitable for sprouting and tillering, providing greater square NSM in varieties RB036066 and RB867515. These varieties presented higher plasticity, so the higher the number of degree days and solar radiation accumulated during the cycle, the higher the average stem mass. Spring planting delayed maturation in the April harvest. At harvest times, the best yields of TSH of the variety RB966928 were from autumn planting. The highest yields of TSH occurred in the October harvest.

Keywords: *Saccharum* spp. Radiation Use Efficiency. Degree-days. Climate requirements. Tillering.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Fases fenológicas da cana-de-açúcar. Variedade RB036088. (A) Brotação, (B) Perfilhamento, (C) Grande crescimento vegetativo, (D) Maturação. .... 19
- FIGURA 2 – Perfilhamento da variedade RB867515 nos quatro experimentos realizados nos dois ambientes de produção, entre outubro de 2014 e março de 2017. .... 33
- FIGURA 3 – Temperatura média diária nos experimentos realizados entre outubro de 2014 e março de 2017. Experimento 01 – Plantio em outubro/2014, no estado do Rio Grande do Sul. Experimento 2, 3 e 4 – Plantios em abril, julho e outubro de 2016, respectivamente, no estado do Paraná.... 35
- FIGURA 4 –Radiação solar global ( $R_g$ ) média diária nos experimentos realizados entre outubro de 2014 e março de 2017. Experimento 01 – Plantio em outubro/2014, no estado do Rio Grande do Sul. Experimento 2, 3 e 4 – Plantios em abril, julho e outubro de 2016, respectivamente, no estado do Paraná..... 36
- FIGURA 5 – Porcentagem de dias com temperatura ambiente acima de 21°C e temperatura média durante o período até atingir o ponto máximo de perfilhamento nos quatro experimentos realizados nos dois ambientes de produção, entre outubro de 2014 e março de 2017. .... 37
- FIGURA 6 – Porcentagem de dias com radiação solar global ( $R_g$ ) média acima de 18 MJ dia<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e radiação solar global ( $R_g$ ) média durante o período até atingir o ponto máximo de perfilhamento nos quatro experimentos realizados nos dois ambientes de produção, entre outubro de 2014 e março de 2017. .... 38
- FIGURA 7 - Médias decendiais de Radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), temperaturas (°C) máximas, médias e mínimas e precipitação acumulada (mm) entre abril/2016 e maio/2017 (A); entre julho/2017 e maio/2018 (B), no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná..... 48
- FIGURA 8 – Taxa de Crescimento da Cultura (TCC): Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018..... 50

FIGURA 9 – Massa fresca parte aérea (MFPA): Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.....	51
FIGURA 10 – Massa seca da parte aérea (MSPA): Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.....	52
FIGURA 11 – Número de perfilhos ( $m^{-2}$ ) em função dos dias após o plantio/corte (esquerda) e graus-dias (direita). Temperatura base utilizada de $16^{\circ}C$ . Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018. ....	54
FIGURA 12 – Índice de área foliar (IAF) em função dos dias após o plantio/corte (esquerda) e graus-dias (direita). Temperatura base utilizada de $16^{\circ}C$ . Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018. ....	58
FIGURA 13 – Fração de radiação interceptada (FRI) em função dos dias após o plantio/corte (esquerda) e graus-dias (direita). Temperatura base utilizada de $16^{\circ}C$ . Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.....	60
FIGURA 14 - Relação entre massa seca aérea acumulada ( $g\ m^{-2}$ ) e radiação solar global ( $R_g$ ) interceptada acumulada para os genótipos RB867515 (A), RB036066 (B), RB966928 (C) e PRBIO588 (D). Ciclo de cana planta e cana soca no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018. ....	62
FIGURA 15 - Temperaturas médias diárias ( $^{\circ}C$ ), temperaturas mínimas e máximas absolutas diárias ( $^{\circ}C$ ) para o período entre abril/2016 e dezembro/2017. ....	76
FIGURA 16 - Radiação solar global $R_g$ ( $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ), precipitação (mm) e umidade do ar (%) diárias para o período entre abril/2016 e dezembro/2017. ....	77
FIGURA 17 - Graus dias acumulados ( $^{\circ}C$ ) em função dos dias após o plantio (DAP) para cada época de plantio avaliada.....	78

FIGURA 18 - Balanço hídrico decendial do ano 2016 na área experimental e as respectivas épocas de plantio – outono, inverno e primavera.....	78
FIGURA 19 - Balanço hídrico decendial do ano 2017 na área experimental. ....	79
FIGURA 20 - Curva de acúmulo de Açúcares Totais recuperáveis (ATR). Comparação época de plantio versus época de colheita para as variedades RB036066 (A), RB867515 (C) e RB966928 (E). Comparação de variedade versus época de colheita para as épocas de plantio de outono (B), inverno (D) e primavera (E). ....	85

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Detalhes da localização e data de plantio dos quatro experimentos realizados.....	31
TABELA 2 – Datas de amostragem com os respectivos dias após o plantio (DAP) e graus-dias (GD) acumulados, com temperatura base de 16 °C. Ciclo de cana planta no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017. ....	47
TABELA 3 - Massa fresca e massa seca em ciclo de cana planta e soca, no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safras 2016/2017 e 2017/2018 (Tb = 16 °C). ....	51
TABELA 4 -Número de colmos, massa fresca e massa seca de colmo em ciclo de cana planta e soca, no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safras 2016/2017 e 2017/2018 (Tb = 16 °C). ....	55
TABELA 5 – Épocas de plantio, datas, estação do ano de plantio e dias após o plantio (DAP) das colheitas, das variedades de cana-de-açúcar RB036066, RB867515 e RB966928, no município de Paranavaí, região noroeste do Estado do Paraná, no ano de 2016.....	73
TABELA 6 – Resumo da análise de variância para número de colmos por metro quadrado (NCM), massa média do colmo (MMC - kg), toneladas de colmo por hectare (TCH - t ha <sup>-1</sup> ), toneladas de açúcar por hectare (TAH - t ha <sup>-1</sup> ) e açúcar total recuperável (ATR - kg t cana <sup>-1</sup> ) para três variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes épocas de plantio e colheita .....	80
TABELA 7 – Valores médios de número de colmos por metro quadrado (NCM), massa média do colmo (MMC - kg), toneladas de colmo por hectare (TCH - t ha <sup>-1</sup> ), toneladas de açúcar por hectare (TAH - t ha <sup>-1</sup> ) e açúcar total recuperável (ATR - kg t cana <sup>-1</sup> ) para três variedades de cana-de-açúcar avaliadas na terceira época de colheita de acordo com diferentes épocas de plantio.....	81
TABELA 8 – Valores médios de massa média do colmo (MMC - kg), toneladas de colmo por hectare (TCH - t ha <sup>-1</sup> ) e toneladas de açúcar por hectare (TAH - t ha <sup>-1</sup> ) avaliadas em três épocas de colheita. ....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS

AA – Ambiente A  
AB – Ambiente B  
AF – Área foliar  
ATR – Açúcar total recuperável  
CAD – Capacidade de água disponível  
DAP – Dias após o plantio  
EUR – Eficiência no uso de radiação solar  
FRI - Fração de radiação solar interceptada  
GD – Graus-dias  
IAF – Índice de área foliar  
Lat – Latitude  
Lon - Longitude  
MS – Massa seca  
NC – Número de colmos  
RFA - Radiação fotossinteticamente ativa  
Rg – Radiação solar global  
Tb – Temperatura base  
TAH – Toneladas de colmos por hectare  
TCC – Taxa de crescimento da cultura  
TCH – Toneladas de açúcar por hectare

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
2.1 A CANA-DE-AÇÚCAR .....	18
2.2 FASES FENOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	18
2.3 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E A CANA-DE-AÇÚCAR .....	20
2.3.1 Temperatura .....	20
2.3.2 Radiação solar .....	22
2.3.3 Fotoperíodo e insolação.....	24
2.3.4 Demanda hídrica .....	24
2.3.5 Umidade relativa do ar .....	26
2.3.6 Outros elementos e fatores meteorológicos .....	27
<b>3 CAPÍTULO I</b> .....	<b>28</b>
<b>CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS PARA PERFILAMENTO MÁXIMO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DOIS AMBIENTES DISTINTOS DE PRODUÇÃO</b> .....	<b>28</b>
RESUMO .....	28
ABSTRACT.....	29
3.1 INTRODUÇÃO .....	30
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.4 CONCLUSÃO .....	39
REFERÊNCIAS .....	40
<b>4 CAPÍTULO II</b> .....	<b>42</b>
<b>INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO CRESCIMENTO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ: SAFRAS 2016/2017/2018</b> .....	<b>42</b>
RESUMO .....	42
ABSTRACT.....	43
4.1 INTRODUÇÃO .....	44
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.4 CONCLUSÃO .....	64
REFERÊNCIAS .....	65

<b>5 CAPÍTULO III.....</b>	<b>69</b>
<b>CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS, EPÓCAS DE PLANTIO E CORTE NA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>69</b>
RESUMO .....	69
ABSTRACT.....	70
5.1 INTRODUÇÃO .....	71
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	73
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
5.3.1 Condições meteorológicas e épocas de plantio .....	76
5.3.2 Componentes de rendimento, épocas de plantio e colheita e as condições meteorológicas.....	79
5.4 CONCLUSÃO .....	88
REFERÊNCIAS .....	89
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS GERAIS.....</b>	<b>94</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as culturas do setor energético do Brasil, a cana-de-açúcar possui grande importância por ser tradicionalmente cultivada em várias regiões do país. A área colhida na safra 2017/2018 foi de 8,73 milhões de hectares, com produção de 633,26 milhões de toneladas (CONAB, 2018). A região Sul, por exemplo, representa 5,9% da produção nacional de cana-de-açúcar, que corresponde a 37,5 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

A cultura da cana-de-açúcar tem recebido destaque por ser uma fonte de energia renovável. Na safra 2017/2018, 60% da produção nacional da cana-de-açúcar foi destinada para a produção de etanol. A estimativa para a safra 2018/2019 é que essa porcentagem aumente para 62,3% (CONAB, 2018). Adicionalmente, tem-se utilizado o bagaço e a palha da cultura para a cogeração de energia (FERREIRA JUNIOR et al., 2015).

A atual produtividade nacional da cultura (2018) é de 72,5 ton ha<sup>-1</sup>. Contudo, tem-se um contraste nas regiões produtoras do país, com médias estaduais variando de 38,2 a 78,8 ton ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018). Devido a diversidade genética e a influência do ambiente de produção no crescimento e desenvolvimento na cana-de-açúcar, o desempenho agrícola das variedades utilizadas são distintos dependendo da época de plantio/corte e do local de cultivo, existindo intensa influência das condições meteorológicas na produtividade das variedades cultivadas (MARAFFON, 2012). A resposta da cultura e a produtividade está intimamente relacionada as condições meteorológicas vigentes em cada fase fenológica (MANHÃES et al., 2015).

Pesquisas que relacionem as condições edafoclimáticas com a produtividade das culturas agrícolas são importantes para o desenvolvimento sustentável da produção (ALMEIDA, 2008; MIERES et al., 2012; ARAÚJO et al., 2017). São informações necessárias, por exemplo, para a adequada calibração de modelos agrícolas de simulação de crescimento (COSTA et al., 2014, MARIN et al., 2014, MARIN et al. 2015, MARIN et al., 2017, SOUZA et al. 2017), que têm como objetivo prever os riscos de produção e o rendimento esperado das culturas.

A obtenção de informações associando o crescimento de plantas com as condições do ambiente são fundamentais para a correta calibração e validação dos modelos agrícolas. A baixa qualidade dos valores previstos pelos modelos surge

muitas vezes devido a qualidade e limitações de amostras dos dados medidos em campo (LISSON et al., 2000).

A influência da radiação solar no dossel de culturas agrícolas é fundamental para a caracterização do crescimento e desenvolvimento (SINCLAIR, MUCHOW, 1999; FERREIRA JUNIOR et al., 2014, FERREIRA JUNIOR et al., 2015; WANG et al., 2015). A radiação interceptada pelo dossel configura a componente mais importante para análise de crescimento (SILVA, COSTA, 2012). Portanto, as informações relacionadas à radiação solar interceptada são vastamente utilizadas em modelos agrícolas de simulação de crescimento (LIU, BULL, 2001; MARIN, JONES, 2014; MARIN et al., 2014, MARIN et al. 2015, MARIN et al., 2017, SOUZA et al. 2017).

Visto que as condições de temperatura e radiação influenciam o crescimento e desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das condições de temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica no crescimento e desenvolvimento da cultura, em dois ciclos de cana planta. Para isto, dividiu-se em três capítulos:

O primeiro capítulo tem por objetivo analisar as condições de temperatura e radiação solar que a variedade comercial RB867515 necessitou para atingir o máximo número de perfilhos nas condições meteorológicas durante os ciclos avaliados.

O segundo capítulo objetivou analisar a taxa de crescimento da cultura, perfilhamento, índice de área foliar, fração de radiação solar interceptada e eficiência do uso de radiação solar global durante o ciclo de cana planta e soca, com plantio realizado em abril no noroeste do Estado do Paraná, onde teve-se baixa disponibilidade de radiação solar e temperatura nas fases de brotação e perfilhamento do ciclo.

No terceiro e último capítulo buscou-se avaliar a influência das condições meteorológicas na produtividade de três épocas de plantio (outono, inverno e primavera) com três épocas de colheita (abril, julho e outubro) de variedades de cana-de-açúcar em ciclo de cana planta, também cultivadas na região noroeste do Estado do Paraná.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é originária do Sudeste da Ásia. Os centros de diversidade de são: Nova Guiné, China e norte da Índia (ROACH, DANIELS, 1987). Em 1420 a cultura chegou em Portugal (COSTA, 1958). Ainda no século XV, a cana-de-açúcar foi levada pelos espanhóis e portugueses a ilhas do Atlântico, época que pode ser considerada a de expansão da cultura em regiões de clima tropicais e subtropicais (CAIRO, 1924; LIPPMAN, 1942; CLAYTON, e DANIELS, 1975). Na América, a cana-de-açúcar data de 1493, levada para a atual República Dominicana (STEVENSON, 1965). Em 1520, a cultura foi introduzida no México e em seguida, disseminada em toda a América (CAIRO 1924; DEER, 1949; LIMA, 1984).

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*. São conhecidas seis espécies: *S. officinarum*, *S. robustum*, *S. spontaneum*, *S. barberi*, *S. sinensi* e *S. edule* (DINARDO-MIRANDA et al., 2008). O cruzamento destas espécies deu origem a variedades comercialmente cultivadas no Brasil (MOZAMBANI et al., 2006).

Devido aos programas de melhoramento genético, que desenvolveram variedades adaptadas aos diversos ambientes de produção e resistentes a patógenos, a cultura da cana-de-açúcar é amplamente cultivada no globo terrestre (FIGUEIREDO et al., 1995). A predominância da cultura ocorre entre 15° e 30° de latitude, com alguns cultivos atingindo até 35° em ambos hemisférios, entre altitudes de 0 a 1000 m.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido da Índia, China, Tailândia, México e Paquistão (CONAB, 2016). Na safra 2017/2018, o Brasil produziu 633,26 milhões de toneladas (CONAB, 2018). A extensão territorial torna o clima do país um dos mais propícios para a produção desta cultura, dispensando de forma geral, recursos ou técnicas especiais para o cultivo, tornando os custos de produção relativamente baixos quando comparados a outros países (ARGENTON, 2006).

### 2.2 FASES FENOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR

As fases de crescimento vegetal são representadas pelas modificações na planta em função do tempo. Podem ser modificações no tamanho, órgão, massa e volume. Para modelar e quantificar o crescimento das plantas em diferentes fases fenológicas é imprescindível o conhecimento da variação das fases da cultura (TERUEL et al., 1997)

A cultura da cana-de-açúcar, do ponto de vista industrial, é dividida em quatro fases fenológicas: brotação, perfilhamento, grande crescimento vegetativo e maturação (MARAFON, 2012). A quantidade de dias para ocorrência e/ou duração de cada fase fenológica supracitadas, são dependentes da variedade utilizada, clima durante o ciclo, época de plantio e manejo (FIGURA 1).

FIGURA 1 – Fases fenológicas da cana-de-açúcar. Variedade RB036088. (A) Brotação, (B) Perfilhamento, (C) Grande crescimento vegetativo, (D) Maturação.

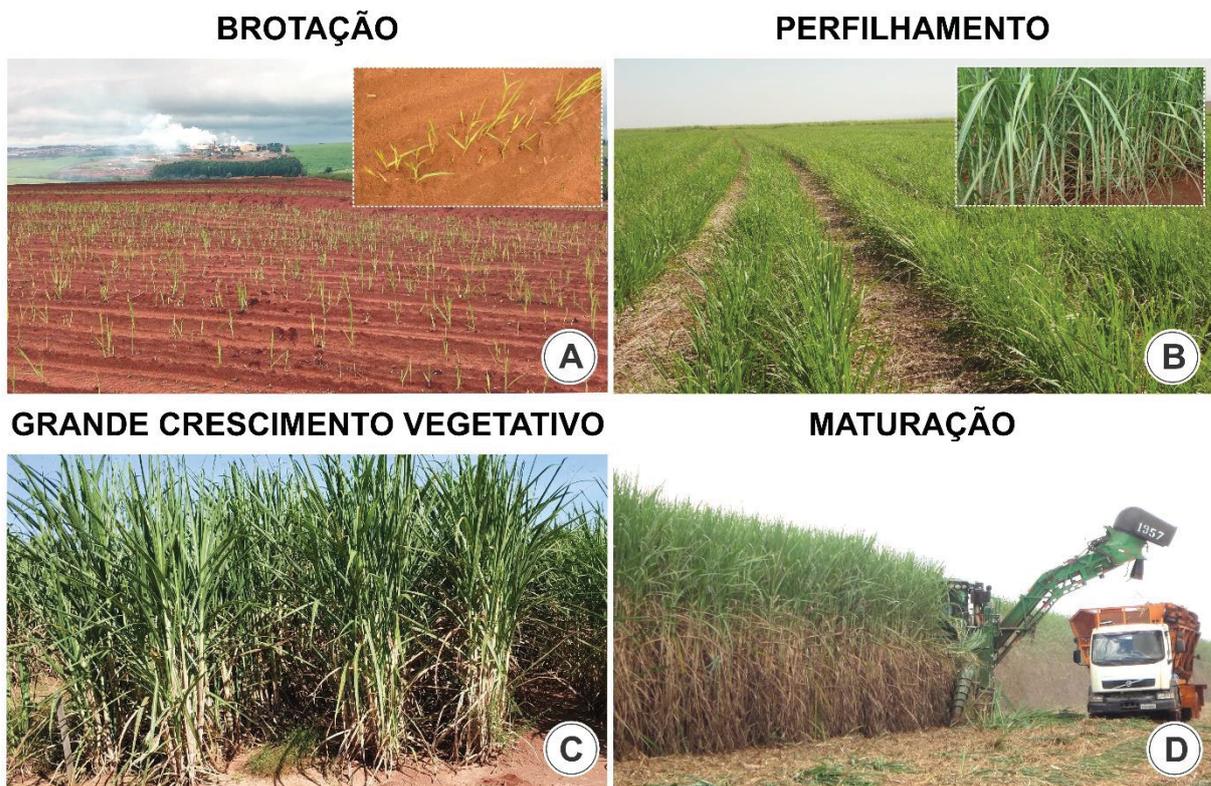


FOTO: Guilherme Souza Berton (2018).

A brotação é dependente da umidade do solo e possui crescimento lento. O perfilhamento inicia-se nas porções subterrâneas dos colmos, segue perfilhando nos primeiros meses após o plantio ou rebrota. Após atingir um valor máximo de perfilhos, ocorre uma diminuição, até atingir a estabilidade (SUGUITANI; MATSUOKA, 2001, ARAÚJO et al., 2017). Uma combinação de fatores é responsável pela intensidade do perfilhamento: radiação solar, temperatura, ciclo da

cultura, variedade empregada, densidade e profundidade de plantio, umidade e adubação no solo (MONTEIRO, 2012).

Após a fase de perfilhamento tem-se a fase de grande crescimento vegetativo onde acumulam-se cerca de 75% da massa seca total da cultura (MONTEIRO, 2012). A última fase, a de maturação, diminui-se ou até mesmo paralisa-se a taxa de crescimento dos colmos, e inicia-se o processo de acúmulo de sacarose (DIOLA, SANTOS, 2010).

## 2.3 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E A CANA-DE-AÇÚCAR

A cultura de cana-de-açúcar apresenta crescimento vigoroso no início do verão em regiões subtropicais e tropicais. Este fato acontece devido a ocorrência de precipitação na parte da tarde, associados a intensa radiação solar (MARIN et al., 2009). Resumidamente, a cultura necessita de uma estação longa e quente, com umidade adequada, alta incidência de radiação solar, para crescer e desenvolver, e em seguida, de um período levemente frio e seco, para conseguir maturar e viabilizar a colheita (DOORENBOS, KASSAM, 1994).

### 2.3.1 Temperatura

A temperatura do ar influencia vários aspectos da produtividade agrônômica, pois tem relação direta com o crescimento e desenvolvimento vegetal (PEREIRA et al., 2002).

A faixa de temperatura ideal para a cultura da cana-de-açúcar depende da fase fenológica. De forma geral, a cultura é relativamente tolerante a altas temperaturas, se existir umidade no solo ou irrigação adequada (PAULA, 2008).

Para resultar em uma colheita rentável, a cultura necessita de uma boa brotação, e para isso é preciso um período quente e úmido para brotar e emergir, com temperaturas do ar elevadas, na ordem de 30°C (SEGATO et al., 2006). A faixa considerada ideal é entre 34 e 37°C (NICKELL, 1975). A brotação pode ser inibida quando a temperatura é superior a 40°C e diminuir a velocidade quando a temperatura for inferior a 20°C (HUMBERT, 1968).

A segunda fase fenológica da cultura, perfilhamento, também necessita de um período com ambiente quente e úmido, com temperatura do ar na ordem de

30°C (SEGATO et al., 2006). Dependendo da época de plantio, o número de perfilhos é influenciado (MANHÃES et al., 2015). Estudo na região Noroeste do Paraná relata que plantios ocorridos no primeiro mês da primavera (outubro) contribuem para a variedade RB867515 atingir valores elevados de perfilhos, quando comparado a plantios realizados no começo do outono (abril), onde o número de perfilhos é prejudicado (ARAÚJO et al., 2017).

A terceira fase fenológica da cana-de-açúcar é considerada a que ocorre o maior acúmulo de massa seca, denominada fase de grande crescimento vegetativo. A temperatura basal que pode causar a paralisação do crescimento vegetativo é amplamente divergente na literatura, com valores de 15 a 21°C (DILLEWIJN, 1952; BARBIERI; VILLA NOVA, 1977; BACHI; SOUZA, 1978; DOORENBOS; KASSAM, 1979; MAGALHÃES, 1987; SCARPARI, 2002). Entre 30 e 34°C tem-se o favorecimento das maiores taxas de crescimento, já acima de 38°C e abaixo de 25°C o crescimento é baixo (FAUCONIER, BASSEREAU, 1975). Definiu-se as temperaturas basais para cultivos não irrigados aos 18°C e irrigados aos 19°C (BACCHI; SOUZA, 1978). Mais adiante, definiu as temperaturas basais para alongamento dos entrenós aos 16°C e para surgimento de folhas novas aos 10°C (SINCLAIR et al., 2004; SMITH, SINGELS, 2006).

A temperatura ótima de acordo com Ebrahim et al. (1998) é de 27 °C, onde tem-se o maior incremento de área foliar. Quando a cultura é mantida à 15°C, o crescimento é lento, reduz-se o número de internódios e os mesmos sofrem encurtamento, além da presença de poucas folhas. Quando a planta foi exposta a temperatura de 45°C, a quantidade de folhas e internódios das plantas foi similar ao da temperatura ótima, porém o diâmetro apresentado foi menor, os internódios mais curtos e senescência foliar precoce.

A indução à maturação e acúmulo de sacarose nos colmos na cultura da cana-de-açúcar ocorre quando a planta é submetida a estresse hídrico e/ou redução da temperatura do ar (ARALDI et al., 2010). Por este motivo, a colheita na região Centro-Sul do Brasil acontece de abril a setembro, onde têm-se a presença de temperaturas mais baixas e menores índices pluviométricos, quando comparado ao restante do ano, uma vez que entre abril a setembro tem-se as estações de outono e inverno.

A temperatura é fator mais efetivo que a baixa precipitação para o acúmulo de sacarose (HUMBERT, 1968). Todavia, a temperatura noturna tem mais efeito do

que a diurna (MARCHIORI, 2004). Pode ocorrer deterioração da cana-de-açúcar, devido a elevada atividade microbiana, em regiões em que as temperaturas mínimas são elevadas durante a safra (RIPOLI; RIPOLI, 2004). De acordo com Marin (2011), a temperatura considerada ideal para a maturação está entre 10 e 20°C. Locais em que não ocorram estresses hídricos, a temperatura diária média precisa ser inferior a 20°C e, são necessários três meses de repouso vegetativo para iniciar a fase de maturação (SCARPARI, 2002).

### 2.3.2 Radiação solar

A radiação solar é a base do desenvolvimento da modelagem agrometeorológica, por ser a energia primária e necessária para a realização da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004). Possui alta influência nos processos fisiológicos que determinam o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade final (BLANCO, SENTELHAS, 2001; D'ANGIOELLA et al., 2001).

Pode-se trabalhar a radiação solar de duas formas. Uma, em que a energia total que atinge a superfície terrestre, proveniente do sol, chamada de radiação solar global (Rg), que por sua vez é dividida em Rg direta e Rg difusa. A outra maneira, é trabalhar com a radiação solar que é utilizado pelas plantas para realizar fotossíntese, a chamada radiação fotossinteticamente ativa (RFA), compreendida no espectro eletromagnético entre 400 a 700 nm (LANA, VIEIRA, 2001; RODRIGUES et al., 2018).

Dentre as fases fenológicas de desenvolvimento da cana-de-açúcar, a fase de brotação é a única que a radiação solar não evidencia efeitos, visto que a planta pode brotar mesmo com ausência da radiação solar (FAUCONIER, BASSERAU, 1975). As demais fases fenológicas são afetadas pela radiação solar (ORTOLAN, CAMARGO, 1987).

Na fase de perfilhamento, são necessárias características morfológicas que favoreçam a interceptação de radiação solar, como elevação do índice de área foliar (IAF) e arquitetura foliar (OLIVEIRA et al., 2005). Ao analisar o perfilhamento na variedade RB867515 em três épocas de plantio na região noroeste do Estado do Paraná (abril, julho e outubro), notou-se que os valores mais elevados de perfilhos ocorreu nos ambientes em que a radiação solar global média foi mais elevada nos

primeiros meses de cultivo. No plantio ocorrido em abril, com redução da radiação solar nos meses seguintes, observou-se que o número máximo de perfilhos foi inferior comparado as outras épocas, indicando que a quantidade de radiação solar nesta fase influencia o perfilhamento (ARAÚJO et al., 2017).

Intensa radiação solar favorece o perfilhamento da cultura. À medida que aumenta a área foliar do dossel durante o perfilhamento, aumenta-se a quantidade de RFA absorvida, aumentando-se a competição intraespecífica por luz. No momento em que o dossel é capaz de cobrir totalmente o solo, têm-se um reajuste na quantidade de perfilhos, senescendo uma parte dos mesmos, devido a insuficiência de luz (CARVALHO, 2009). A tendência é estabilizar a quantidade de perfilhos sobreviventes, que se tornarão mais adiante os colmos industrializáveis.

Durante a fase de crescimento vegetativo pleno, tem-se as maiores taxas de acúmulo de massa. Radiação solar global na faixa entre 18 a 36 MJ m<sup>-2</sup> é considerada propícia para o crescimento (MONTEIRO, 2012).

A proporção de conversão de energia em massa aumenta linearmente até 50% de interceptação de luz. Acima deste nível de interceptação, a conversão fotossintética reduz. Mais de 70% da energia luminosa é interceptada pela cobertura superior da cultura quando o dossel está plenamente desenvolvido. A proporção fotossintética das folhas reduz com a altura, devido a senescência foliar causada pelo autossombreamento (VERED; RAO, 2014). De acordo com Robertson et al. (1996), redução de 5% de radiação solar interceptada pela planta pode reduzir em até 26% a produção de massa total.

A morfologia da cultura da cana-de-açúcar permite alta interceptação de radiação solar e conseqüentemente alta produção de massa. Folhas eretas possibilitam adensar a quantidade de plantas, aumentando o rendimento por área. Este é um dos fatos que explica os altos níveis de produtividade em condições de campo com menores espaçamentos entrelinhas (MARIN et al., 2009; CARVALHO, 2009).

Outro fato é que a cana-de-açúcar é uma planta do tipo C4, que apresenta eficiência elevada de conversão de radiação solar em energia química quando submetida a intensa radiação solar, caso esteja associada a condições de disponibilidade hídrica e temperaturas elevadas (MONTEIRO, 2012). Assim, menores espaçamentos contribuem para elevação do índice de área foliar,

contribuindo para incremento na taxa fotossintética por metro quadrado e consequentemente, produtividade elevada (GALVANI et al., 1997).

De forma geral, baixa radiação solar na fase de crescimento vegetativo resulta em colmos longos e finos, folhas amareladas e estreitas. Alta taxa de radiação solar, contribui para colmos com diâmetros maiores, mais curtos, com folhas verdes e longas, aumentando o IAF e as taxas fotossintéticas (RODRIGUES, 1995).

### 2.3.3 Fotoperíodo e insolação

Na fase de crescimento vegetativo pleno, considera-se que fotoperíodo entre 10 a 14 horas, possibilita o alongamento dos colmos da cultura. Fotoperíodo muito elevado, entre 16 a 18 horas, causam diminuição no comprimento dos colmos (BARBIERI et al., 1981). Dias com longa duração e a alta intensidade de radiação solar estimula o perfilhamento. Já dias nublados e/ou curtos contribuem para efeito contrário.

### 2.3.4 Demanda hídrica

A cultura da cana-de-açúcar suporta déficit hídrico em qualquer fase fenológica, mas o reflexo na produtividade final será dependente da intensidade, da duração do déficit e da fase fenológica de ocorrência, em consonância com outros fatores que definem a produtividade (DOORENBOS; PRUITT, 1975; THOMPSON, 1976).

O consumo de água e a produção de massa seca, são dependentes da cultivar, manejo do solo e clima do local de cultivo (MONTEIRO, 2012). A produção de massa é diretamente proporcional a quantidade de precipitação (SANTOS, 1981; CECÍLIO et al., 2003). A variação de produtividade da cana-de-açúcar entre os anos agrícolas é dada principalmente pela água (PRADO, 2005).

De acordo com Fauconier e Bassereau (1970), um canavial com produtividade de 100 ton ha<sup>-1</sup> de colmos consome durante o ciclo, aproximadamente, 1500 mm de água. Segato et al. (2006) relatam que a relação de consumo de água e produtividade é da ordem de 8 a 12 mm ton<sup>-1</sup>. Em conformidade com Almeida et al.

(2008), precipitação pluvial anual a partir de 1000 mm é suficiente para resultar altas produtividades, se for bem distribuída ao longo do ciclo.

Na fase de crescimento vegetativo a cultura cresce proporcional à transpiração. Dependendo do clima, são necessários de 1500 a 2500 mm de precipitação uniformemente distribuídos na safra (DOORENBOS; KASSAM, 1979). A região centro-sul brasileira, que compreendem o Sul dos Estados do Mato Grosso e Tocantins, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais com exceção de sua região norte, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, não atingem os valores pluviométricos anuais supracitados. Todavia, considera-se a distribuição da chuva e disponibilidade hídrica de forma associada aos estádios fenológicos da cultura (MONTEIRO, 2012). Para atingir a máxima produtividade, é fundamental disponibilidade de água no solo no período vegetativo.

Regiões áridas e semiáridas são mais propícias a serem prejudicadas pelo déficit hídrico. Entretanto, locais onde a precipitação é desuniforme ao longo do ano, podem também afetar a produtividade. Estresse hídrico provoca o fechamento dos estômatos, que por sua vez diminui a taxa fotossintética, afetando o crescimento e o rendimento final da cana-de-açúcar (PEREIRA et al., 2002). Complementarmente, déficit hídrico causa redução no alongamento dos colmos, ocasionando a formação de internódios curtos (DOORENBOS, KASSAN, 1994, DELGADO ROJAS, 1998). É indicado o uso de irrigação nestes casos, para auxiliar o aumento de produtividade (CARRETERO, 1982; SOUZA et al., 1999; DARLI et al., 2008).

Para finalizar a fase de crescimento vegetativo e dar início ao acúmulo de sacarose, i.e., fase de maturação, além de redução de temperatura como foi citado anteriormente, o déficit hídrico também favorece esta fase fenológica (RUDORF; BATISTA, 1988; JOAQUIM, 1998). A restrição hídrica nesta fase força o repouso fisiológico e o acúmulo de sacarose (INMAN-BAMBER, SMITH, 2005). Por este fato, caso ocorra precipitação considerável durante a fase de maturação, o acúmulo de sacarose pode ser prejudicado (INMAN-BAMBER, 2004).

Na época de colheita, precipitação associada a umidade do ar elevada alonga o tempo de corte/queima, e aumenta a aderência de solo no colmo, favorecendo a contaminação bacteriana, prejudicando a qualidade industrial (RIPOLI; RIPOLI, 2004). Chuvas durante a colheita têm influência direta na logística canavieira, como o transporte dos colmos e o planejamento do corte. Elevada

umidade no solo associado ao tráfego de máquinas pesadas, causam a compactação do solo, prejudicando os rendimentos da safra seguinte (MARIN et al., 2009).

A disponibilidade hídrica influencia também a indução ao florescimento. Yeu (1980) e Pereira et al. (1983) salientam que a quantidade de pendões pode ser reduzido caso ocorra deficiência hídrica no momento da indução floral. No entanto, causar deliberadamente estresse hídrico na cultura é uma prática inviável em regiões onde tem-se verões e outonos chuvosos. Isso ocorre, pois, estas estações coincidem com o período de indução floral e florescimento. Outro fato relevante é que a prática de irrigação não é integralmente empregada no cultivo da cana-de-açúcar, reduzindo regiões potenciais de ocorrência de déficit hídrico intencionalmente.

Em locais em que efetivamente tem-se a prática de irrigação, diminui-se a frequência das lâminas de irrigação ou mesmo suspende-as, para que ocorra diminuição no crescimento vegetativo, desidratação da planta e desta forma force a mesma a transformar os açúcares armazenados em sacarose recuperável (DOORENBOS, KASSAN, 1994, DELGADO ROJAS, 1998).

Dentre as gramíneas, a cana-de-açúcar é a que possui a maior capacidade de aproveitar o orvalho e precipitação interceptada pelas folhas (SEGATO et al., 2006). Estudos citam que folhas supridas com água são capazes de sintetizar 10 vezes mais sacarose que as desprovidas de água, e ainda, ao atingir o ponto de murcha a atividade fotossintética não pausa, mas permanece a uma taxa extremamente baixa (OMETTO, 1980).

### 2.3.5 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é um elemento meteorológico importante principalmente para acompanhamento de doenças, visto que umidade elevadas favorecem a proliferação de fungos patogênicos (CIIAGRO, 2009).

Valores na ordem de 80 a 85% são favoráveis para rápido alongamento do colmo na fase fenológica de crescimento vegetativo pleno (VERED; RAO, 2014). Umidade relativa na ordem de 45 e 65% auxilia a maturação da planta, se associado a déficit hídrico (RODRIGUES, 1995).

De maneira geral, a faixa de umidade relativa do ar durante o ciclo da cultura para bom desenvolvimento é entre 55 e 85% (DILLEWJIN, 1952; VERED; RAO, 2014).

### 2.3.6 Outros elementos e fatores meteorológicos

Quando a cana-de-açúcar atinge porte considerável, rajadas de vento podem acamar as plantas. Este fato é prejudicial, visto que o acamamento provoca esmagamento e quebra de colmos, podendo resultar em senescência de colmos já industrializáveis (VAN HEERDEN et al., 2010). Estudos relatam que o tombamento das plantas pode ser influenciado pela nutrição, umidade e classificação do solo (CAPUTO, 2003).

O fator latitude tem alto efeito na intensidade do florescimento (ARALDI et al., 2010). Estudos observaram que em ambientes subtropicais, o florescimento ocorre circunstancialmente e com baixa incidência, enquanto que em menores latitudes, regiões tropicais, o florescimento é precoce e com maior incidência, afetando 80 a 100% das plantas (DONALDSON; SINGELS, 2004).

No hemisfério Sul, os dias indutivos são considerados baseados no equinócio de outono. A medida que se diminui a latitude, a quantidade de dias propícios ao florescimento aumenta, chegando até o fim de dezembro e conseqüentemente, pode ocorrer duas florações entre fevereiro a maio, com maior intensidade de florescimento e isoporização em abril/maio (ROCHA et al., 2015).

Além dos elementos e fatores supracitados, a nebulosidade diurna, altitude, estado nutricional e fitossanitário também influenciam o processo de florescimento. Antes do equinócio de Outono, os dias são mais longos do que as noites e qualquer cobertura de nuvens afeta e luminosidade necessária. Quanto a altitude, quanto mais elevados, mais suscetíveis à indução estará a cultura (ROCHA et al., 2015).

A geada branca e geada negra tem sido considerado grave problema na região Centro-sul do Brasil (BATALHA, 2011). A maior preocupação é com a geada negra, por ser mais prejudicial, devido a liberação de energia (RODRIGUES, 1995).

### 3 CAPÍTULO 1<sup>1</sup>

## CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS PARA PERFILHAMENTO MÁXIMO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DOIS AMBIENTES DISTINTOS DE PRODUÇÃO

### RESUMO

Estudos que buscam compreender o comportamento dos genótipos de cana-de-açúcar em diferentes ambientes de produção possuem elevada importância, pois são informações úteis em diversas áreas de estudo. O objetivo deste trabalho foi analisar as condições de temperatura e radiação solar que a variedade comercial RB867515 necessitou para atingir o máximo número de perfilhos em dois ambientes distintos de produção, localizados ao sul do Estado do Rio Grande do Sul e na região noroeste do Estado do Paraná. Foram utilizados dados de perfilhos de quatro experimentos realizados entre outubro de 2014 à abril de 2017. Utilizou-se 1,4 m de espaçamento entrelinhas no experimento 1 (RS) enquanto nos outros experimentos (2, 3 e 4 - PR) foram de 1,5 m. Todos os plantios foram em toletes, com 10 cm de profundidade e distribuição média de 18 gemas por metro. Na contagem de perfilhos utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições em cada amostragem, ao longo dos dias após o plantio (DAP). Os dados meteorológicos usados foram temperatura média e radiação solar global. Os ambientes apresentaram diferentes tempos (DAP) para atingir o máximo número de perfilhos por metro; Os ambientes com maior incidência de radiação solar global e temperaturas mais elevadas na fase inicial do ciclo atingiram valores mais elevados de máximo perfilhos; Os plantios de outubro atingiram valores mais altos de número máximo de perfilhos; O número máximo de perfilhos não indicou número elevado de colmos industrializáveis.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., RB867515, temperatura, radiação solar.

---

<sup>1</sup> Capítulo redigido em forma de artigo científico, de acordo com as normas da revista Agrometeoros – Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, ISSN (on-line) 2526-7043. Recebido em 16/06/2017. Aceito em 10/08/2017. Publicado v.25, n. 1, p. 257-264, ago 2017.

## AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS FROM MAXIMUM TILLERING OF SUGARCANE CULTURE IN TWO DIFFERENTS ENVIRONMENTS OF PRODUCTION

### ABSTRACT

Studies that understand the behavior of sugarcane genotypes in different production environments are of high importance, since they are useful information in several areas of study. The objective of this work was to analyze the temperature and solar radiation conditions that the commercial variety RB867515 needed to reach the maximum number of tillers in two distinct production environments, located to the south of the State of Rio Grande do Sul and in the northwest region of the State of Paraná. Were used tiller data from four experiments conducted between October 2014 and April 2017. Were used 1.4 m spacing in experiment 1 (RS) while in the other experiments (2, 3 and 4-PR) were 1.5 m. All the plantings were in cane sticks, with 10 cm of depth and average distribution of 18 buds by linear meter. In the tiller count, the completely causal design was used, with four replications at each sampling, along the days after planting (DAP). The meteorological data used were mean temperature and global solar radiation. The environments presented different times to reach the maximum number of tillers per meter; The environments with the highest incidence of global solar radiation and higher temperatures in the initial phase of the cycle reached higher values of maximum tillers; October plantings reached higher values of maximum number of tillers; Maximum number of tillers did not necessarily indicate a high number of industrializable stalks.

Keywords: *Saccharum* spp., RB867515, temperature, solar radiation.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul apresenta-se como um potencial produtor de cana-de-açúcar, com capacidade de produtividade na ordem de 100 ton ha<sup>-1</sup> (VERISSIMO et al., 2012). Este valor representa produtividade de 38,9% acima da atual média nacional que é de 72,6 ton ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017). Estudos relatam que o alto fotoperíodo e a radiação solar sob o estado durante o verão e ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano favorecem o crescimento das variedades de cana-de-açúcar (ALMEIDA et al., 2008). No entanto, à nível nacional, no ano de 2015, o estado foi o 17º no ranking de produção da cultura de cana-de-açúcar, com 0,26 e 0,60% da produção e área plantada, respectivamente (SEPLAG-EMATER, 2015).

Em contrapartida, o Estado do Paraná possuiu uma área cultivada de 617,7 mil ha de cana-de-açúcar na safra 2016/2017, com produtividade 68,35 ton ha<sup>-1</sup>, valor abaixo da média nacional, de 72,6 ton ha<sup>-1</sup> nesta safra (CONAB, 2017).

Apesar das produtividades relatadas acima, são poucos os experimentos que inter-relacionam fatores como clima, solo e variedades com a fenologia da cana-de-açúcar (SUGUITANI, 2006). Uma vez que são escassas as informações a respeito das exigências climáticas da cultura, estudos como o presente que buscam compreender o comportamento dos genótipos em diferentes ambientes de produção possuem elevada importância, pois estas informações são úteis em diversas áreas de estudo, como a do melhoramento genético, modelagem agroclimática, manejo da cultura e estimativa de produtividade, por exemplo.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo analisar as condições de temperatura e radiação solar para a expressão do máximo perfilhamento da variedade comercial RB867515, em diferentes épocas de plantio.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de quatro experimentos (1, 2, 3 e 4) com a cultura de cana-de-açúcar realizados entre outubro de 2014 à abril de 2017. O primeiro deles, o experimento 1, ocorreu na Sede da Embrapa Clima Temperado, (31°40'24"S, 52°26'17"O e 50 m), situada no município de Pelotas-RS, Brasil. Os demais, ou seja, experimentos 2, 3 e 4 foram realizados na Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA), pertencente à Universidade Federal do Paraná, no município de Paranavaí-PR (22°58' 41.7" S, 52°28' 03" O, 470 m). A localização e data de plantio de cada experimento segue detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Detalhes da localização e data de plantio dos quatro experimentos realizados.

Experimento	Localização	Lat (°)	Lon (°)	Data de plantio
01	Rio Grande do Sul	31°40'24,0"S	52°26'17"O	13/10/2014
02	Paraná	22°58'41,7"S	52°28'03"O	20/04/2016
03	Paraná	22°58'41,7"S	52°28'03"O	25/07/2016
04	Paraná	22°58'41,7"S	52°28'03"O	13/10/2016

O espaçamento entrelinhas do experimento 1 foi de 1,4 m enquanto que dos outros experimentos (2, 3 e 4) foram de 1,5 m. Em todos os experimentos foram utilizados a variedade comercial RB867515, plantada em toletes, com 10 cm de profundidade e distribuição média de 18 gemas por metro.

O solo da área experimental 1 foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico Abrúptico A Moderado, com horizonte A preservado (PVAe2). A calagem e adubação foram determinadas através de análise química do solo. A calagem foi realizada com calcário dolomítico com dose de 945,27 kg ha<sup>-1</sup>. A adubação usada foi o formulado 36-0-12 (N, P, K), aplicado em duas doses, a primeira de 150 kg ha<sup>-1</sup> dia 22 de dezembro de 2014, e a segunda de 100 kg ha<sup>-1</sup>, aplicada no mês de janeiro de 2015. Já o solo da área experimental dos experimentos 2, 3 e 4 foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, sendo o de maior representatividade regional, com ocorrência superior a 50%. São solos muito profundos, constituídos por material mineral, de origem do Arenito Caiuá, apresentando horizonte B latossólico. Possuem saturação por bases baixa (V = 50%) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)

(EMBRAPA, 2006). Foi realizada calagem no preparo do solo, com a dose de 1,8 ton ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, e adubação de base no sulco de plantio com formulado 10-20-20 (N, P, K).

Na instalação do ensaio, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC). As contagens de perfilhos em cada amostragem foram realizadas em cinco metros, com quatro repetições, marcados na primeira contagem de cada experimento e acompanhados nas datas subsequentes. As datas após o plantio (DAP) das amostragens do experimento 1 foram aos: 88, 101, 119, 133, 151, 165, 179, 193, 213, 232 e 261 DAP; do experimento 2 foram: 33, 49, 65, 82, 90, 105, 119, 147, 174, 187, 230, 272, 302, 324 e 341 DAP; do experimento 3: 52, 60, 72, 79, 87, 92, 109, 135, 150, 177, 207, 229, 246, e 261 DAP; e do experimento 4: 29, 55, 70, 97, 127, 149, 166, 188 e 238. Portanto, tem-se para o experimento 1, 2, 3 e 4, respectivamente, 11, 15, 13 e 9 datas de amostragens. Em seguida, realizou-se regressão para definir a época do ponto máximo perfilhamento de cada experimento e seguiu-se para a análise agrometeorológica.

Na análise agrometeorológica, utilizou-se os dados de temperaturas médias (°C) e radiação solar global (W m<sup>-2</sup>), obtidos a partir da estação meteorológica automática, modelo Davis Vantage PRO2 situadas próximas aos talhões experimentais.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 tem-se o número de perfilhos por metro quadrado ao longo dos DAP, para cada experimento realizado. Observou-se que o experimento 4, ambiente localizado no noroeste do Estado do Paraná, apresentou o mais elevado número de máximo de perfilhos, atingindo 25,2 m<sup>-2</sup> aos 55 DAP (Figura 2). O experimento 1, localizado no sul do Estado do Rio Grande do Sul ficou em segundo colocado com máximo número de perfilhos, de 21,71 m<sup>-2</sup> aos 88 DAP, ou seja, 13,9% a menos perfilhos por metro quadrado quando comparado ao experimento 4.

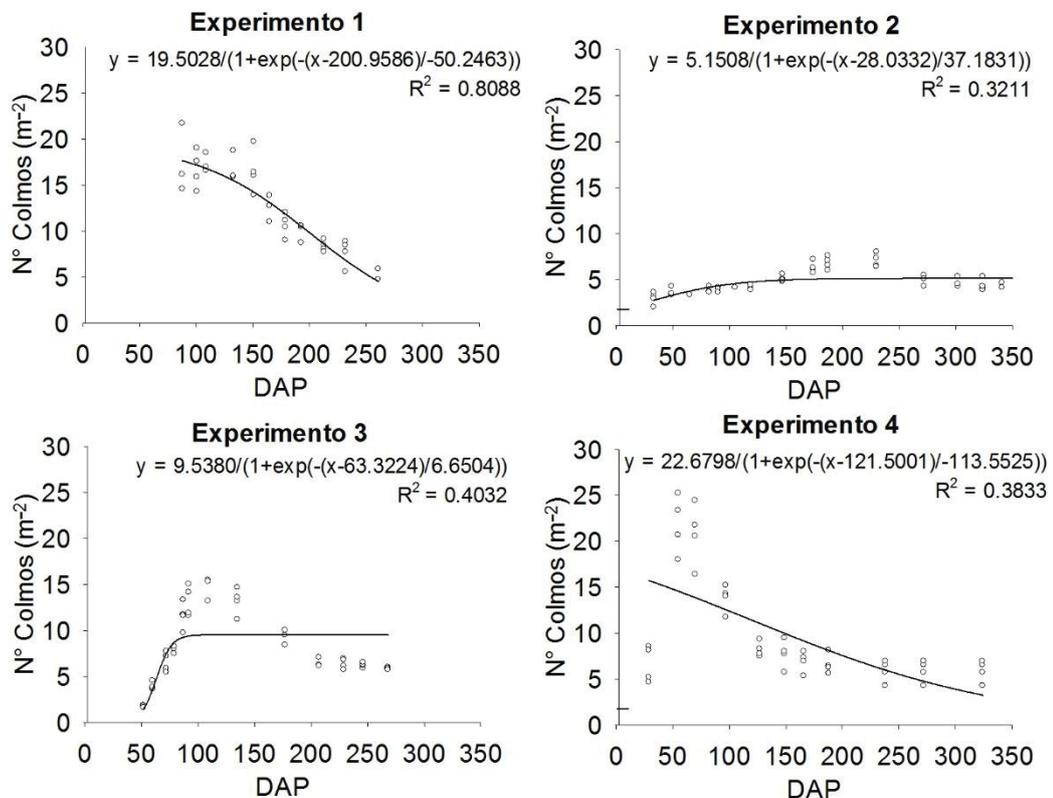


Figura 2 – Perfilhamento da variedade RB867515 nos quatro experimentos realizados nos dois ambientes de produção, entre outubro de 2014 e março de 2017.

\*\*A curva de regressão foi significativa à 5% de probabilidade de acordo com o teste F da análise de variância da regressão.

Os experimentos 3 e 2 alcançaram 15,47 e 7,6 perfilhos m<sup>-2</sup>, aos 109 e 187 DAP, respectivamente, representando 38,6 e 69,84% perfilhamento máximo abaixo do atingindo no experimento 4. Nota-se que aos 100 DAP, apenas o experimento 2 não possuía mais de 10 perfilhos m<sup>-2</sup>. Desta forma, em ordem decrescente de máximo perfilhamento m<sup>-2</sup> ficamos: experimento 4, 1, 3 e 2. Em relação aos DAP

para atingir o ponto máximo de perfilhos, o experimento mais rápido foi o 4 (55 DAP), seguido do experimento 1 (88 DAP), 3 (119 DAP) e 2 (187 DAP). Temos, portanto, que, os plantios realizados nos meses de outubro (experimentos 1 e 4) foram os que atingiram valores mais elevados de máximo perfilhos enquanto que o plantio realizado em abril (experimento 2) atingiu o menor valor máximo de perfilhos.

Suguitani e Matsuoka (2001) afirmam que após o ponto máximo de perfilhos, há uma diminuição do mesmo até atingir a estabilidade, que se mantém, em geral, constante até o fim do ciclo. O experimento 2, plantado em abril de 2016 no noroeste do PR, foi o que menos apresentou diminuição de perfilhos ao longo do ciclo e, manteve uma relativa estabilidade ao longo do ciclo, como pode ser observado na Figura 2. Nota-se que os demais experimentos, após atingir o ponto de máximo perfilhamento, sofrem uma diminuição abrupta na quantidade do mesmo. Este fato pode ser consequência da competição intraespecífica das plantas. A redução de mais da metade do número máximo de perfilhos corrobora com estudos de Oliveira et al. (2004), que observou este efeito em outras variedades no estado do Paraná.

Ao fim do ciclo, a quantidade de perfilhos por metro quadrado na verdade representa a quantidade de colmos industrializáveis. No campo, o experimento 1 possuía 7,64 perfilhos  $m^{-2}$ , aos 232 DAP, enquanto que o experimento 2 possuía 7,07 aos 230 DAP e o experimento 3 possuía 6,4 aos 229 DAP. Este fato revela que atingir elevado número máximo de perfilhamento, como ocorreu com o experimento 1, não indica necessariamente que refletirá em elevado colmos industrializáveis ao decorrer do ciclo. Isto fica fortemente evidenciado ao compararmos o fim do ciclo entre os experimentos 1 e 2. Note que aos 276 DAP o experimento 1 possuía apenas 5,29 perfilhos  $m^{-2}$ , enquanto que o experimento 2 mostrou 5,03 aos 272 DAP. Esse padrão de estabilização da população final de perfilhos é uma característica típica da cultura, que também foi previamente reportado por outros autores (SUGUITANI; MATSUOKA, 2001; OLIVEIRA et al., 2004). O rendimento final foram de 5,3, 4,3, 5,8 e 5,9 colmos por metro quadrado, respectivamente, para os experimentos 1, 2, 3 e 4.

Essas diferenças no número máximo e redução de perfilhos ao longo do ciclo pode ser reflexo das condições edafoclimáticas, como a radiação solar, temperatura ambiente e do solo, umidade do solo, insolação dentre outras. Temperaturas limiares inferiores que causam paralisação no crescimento da cultura, são divergentes entre alguns autores, variando entre 15 °C a 21 °C (DILLEWIJN,

1952; BARBIERI; VILLA NOVA, 1977; BACCHI; SOUZA, 1978; DOORENBOS; KASSAM, 1979; MAGALHÃES, 1987; SCARPARI, 2002). Assim, temperaturas médias diárias acima de 21°C é o comumente utilizado para limiar o bom crescimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Observa-se que até cerca de 150 DAP a temperatura média diária no experimento 2 foi abaixo da margem supracitada (Figura 3). Este fato pode ser um dos responsáveis pelo número baixo de perfilhos apresentado neste experimento em relação aos demais.

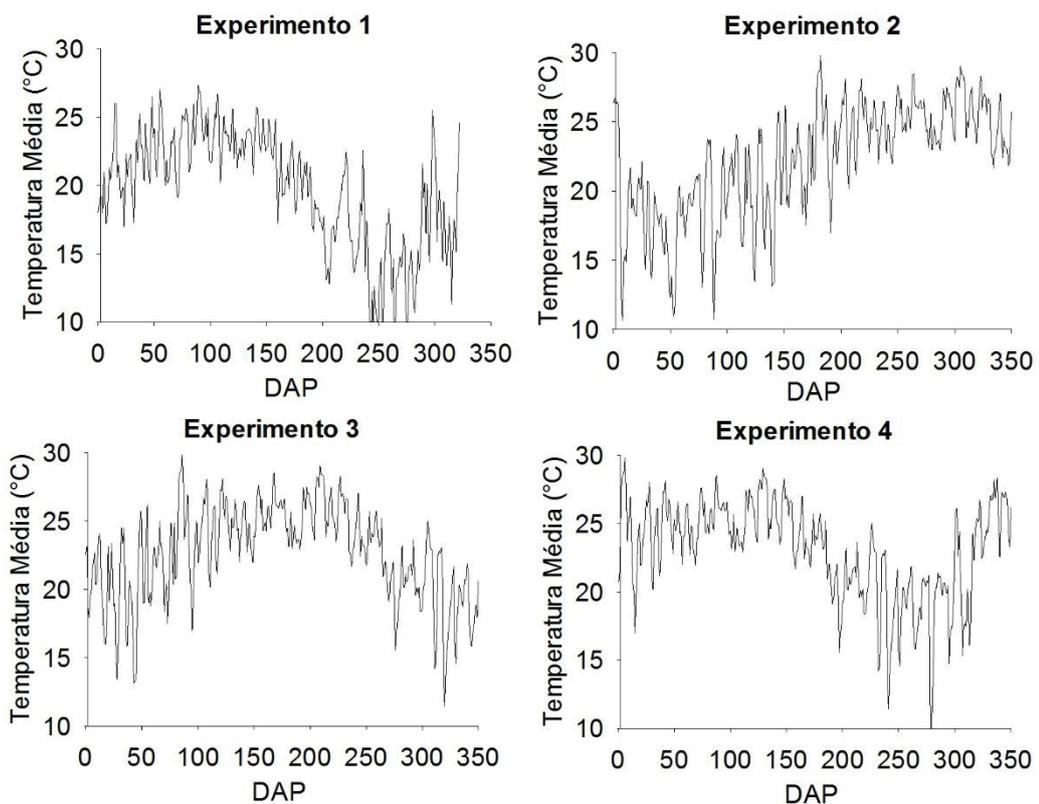


Figura 3 – Temperatura média diária nos experimentos realizados entre outubro de 2014 e março de 2017. Experimento 01 – Plantio em outubro/2014, no estado do Rio Grande do Sul. Experimento 2, 3 e 4 – Plantios em abril, julho e outubro de 2016, respectivamente, no estado do Paraná.

No experimento 1, nota-se uma diminuição na temperatura média diária na segunda metade do ciclo, o que é propício para a maturação da cultura. O contrário ocorreu no experimento 2, onde a temperatura média diária na segunda metade do ciclo manteve-se elevada. A baixa redução de perfilhos apresentado no experimento 2 em relação aos demais pode ser devido ao comportamento da temperatura, uma vez que quando a mesma se eleva, pode aumentar o perfilhamento (DILLEWIJN, 1952). Neste caso, a contribuição da temperatura em elevação não foi no aumento de perfilhos, mas sim na diminuição da taxa de senescência dos mesmos.

Em relação a radiação solar, Marafon (2012) afirma que para o bom crescimento e desenvolvimento da cultura são necessários dias com radiação solar global média acima de  $18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Observa-se na Figura 4 que a radiação solar global possui uma alta variação diária. Dias com precipitação, dias nublados e dias com elevado número de nuvens diminuí consideravelmente a radiação que chega ao dossel da planta. Os experimentos 2 e 3, ou seja, plantados em abril e julho, foram prejudicados devido à baixa incidência de radiação solar nos meses iniciais do cultivo, causado pela incidência solar das estações de outono e inverno.

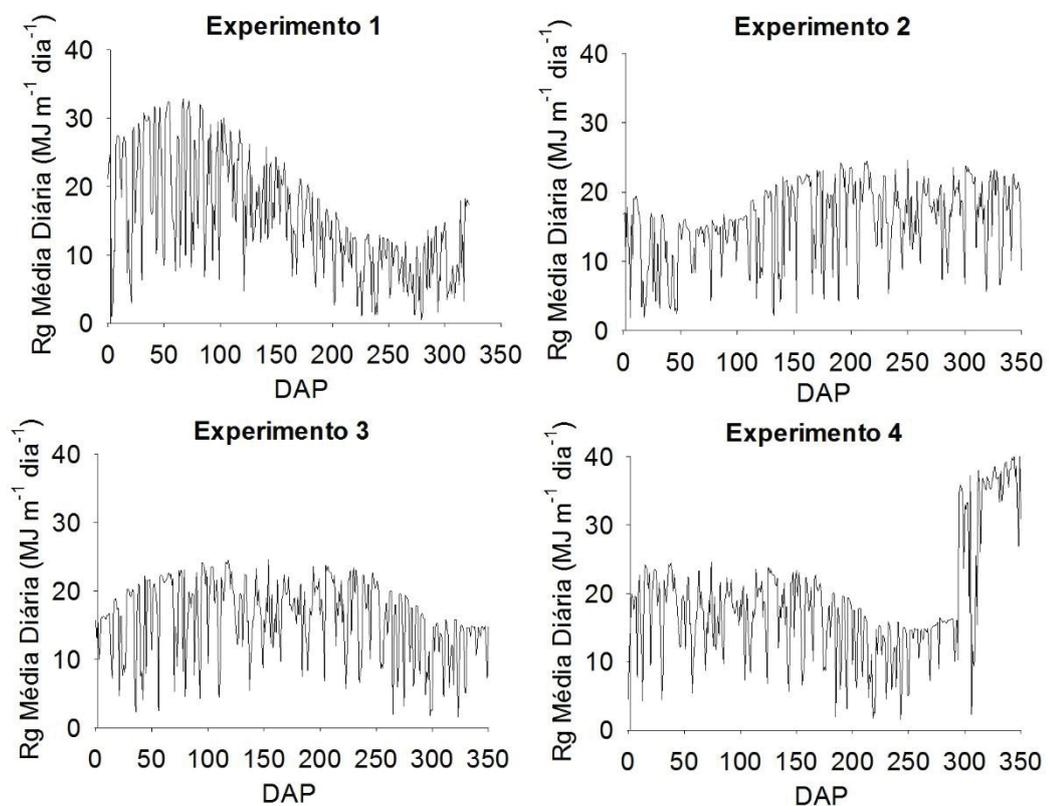


Figura 4 –Radiação solar global (Rg) média diária nos experimentos realizados entre outubro de 2014 e março de 2017. Experimento 01 – Plantio em outubro/2014, no estado do Rio Grande do Sul. Experimento 2, 3 e 4 – Plantios em abril, julho e outubro de 2016, respectivamente, no estado do Paraná.

Considerando como limiares inferiores a temperatura de  $21^{\circ}\text{C}$  e radiação solar global de  $18 \text{ MJ dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$  para que a cultura de cana-de-açúcar tenha condições ótimas para o desenvolvimento e crescimento, observou-se que o experimento 4, que atingiu o ponto máximo de perfilhamento mais cedo que os demais, precisou de 45 dias de temperatura acima dos  $21^{\circ}\text{C}$  e 40 dias de radiação acima dos  $18 \text{ MJ dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$  (Figura 5 e 6). Em contrapartida o experimento 2, que

levou mais DAP para atingir o número máximo de perfilhos, necessitou de 62 e 51 dias de temperatura e radiação propícios, respectivamente. No entanto, o experimento 1, plantado em outubro como o experimento 4, necessitou de 55 e 57 dias de temperatura e radiação propícios, respectivamente.

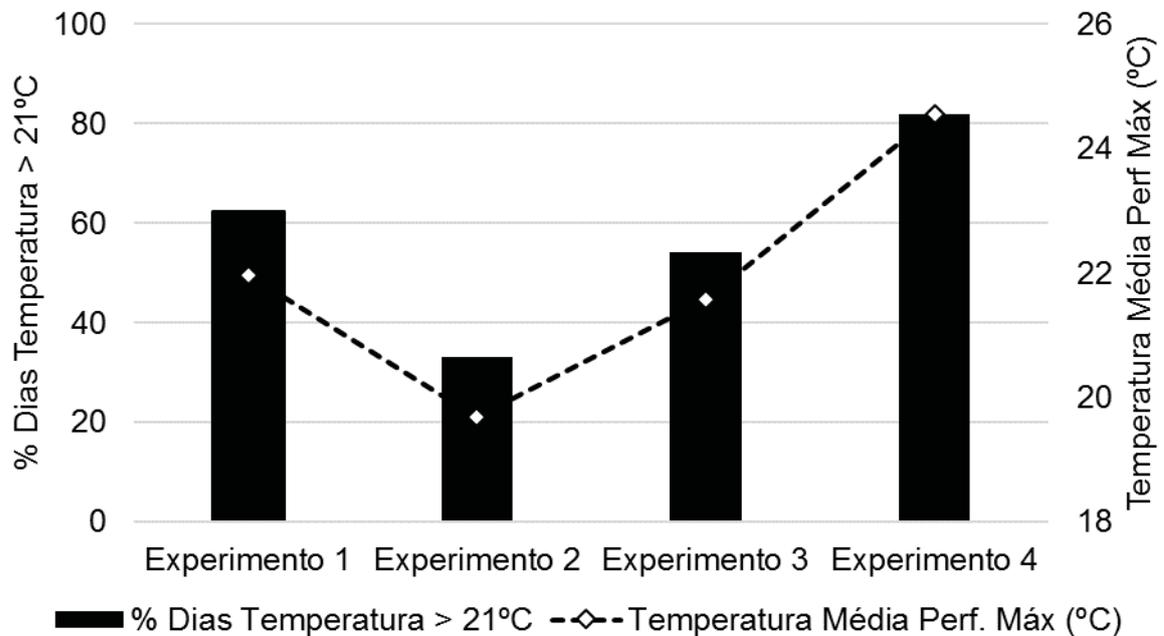


Figura 5 – Porcentagem de dias com temperatura ambiente acima de 21°C e temperatura média durante o período até atingir o ponto máximo de perfilhamento nos quatro experimentos realizados nos dois ambientes de produção, entre outubro de 2014 e março de 2017.

Pode-se observar na Figura 5 que a ordem de dias para atingir o mais elevado número de perfilhos é proporcional a temperatura, isto é, quanto mais elevado a temperatura até o ápice de perfilhos, mais rápido ocorre o mesmo. Isto indica que temperatura ambiente tem correlação positiva com perfilhamento.

O mesmo fato acontece com a radiação solar global média (Figura 6). Nota-se que os ambientes 1 e 4 que foram os que apresentaram os mais elevados números de perfilhos são também os experimentos de maior incidência de radiação na fase inicial da cultura.

Vale ressaltar que o experimento 2, apesar de mostrar os menores valores de Rg e temperatura, foi o que mostrou menor diminuição ao longo do ciclo.

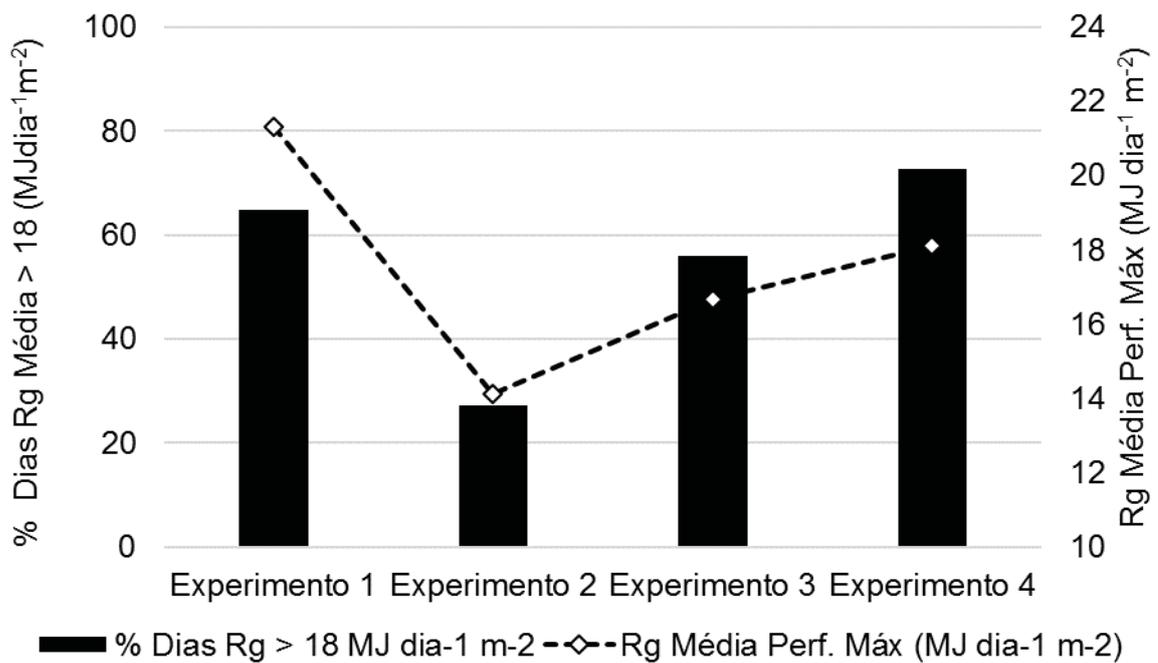


Figura 6 – Porcentagem de dias com radiação solar global (Rg) média acima de 18 MJ dia<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e radiação solar global (Rg) média durante o período até atingir o ponto máximo de perfilhamento nos quatro experimentos realizados nos dois ambientes de produção, entre outubro de 2014 e março de 2017.

### 3.4 CONCLUSÃO

Para atingir o máximo perfilhamento, os experimentos 1, 2, 3 e 4 necessitam, respectivamente, 88, 187, 109 e 55 dias após plantio. Os plantios dos experimentos 1 e 4 atingem os maiores valores de máximo perfilhos, maior incidência de radiação solar global e temperaturas mais elevadas até atingirem o máximo perfilhos. Os plantios realizados em época de maior disponibilidade de radiação solar e temperatura mais elevadas, atingem os maiores valores de número máximo de perfilhos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C. DOS S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1441-1448, 2008.
- BACCHI, O. O. S.; SOUZA, J. A. G. C. Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 1. 1978. London. **Anais...** London: ISSSCT, 1978. v. 2, p 1733-1741.
- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. **Climatologia e a cana-de-açúcar. Araras: PLANALSUCAR**, Coordenaria Regional Sul, 1977. 22 p
- CONAB. Companhia Nacional do Abastecimento. Levantamento da produção de cana-de-açúcar. 2017. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_04\\_19\\_11\\_27\\_36\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_4o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_19_11_27_36_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_16-17.pdf). Acesso em: 20 abr. 2017.
- DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane: The Chronica Botanica**. New York: Stechert-Hafner, 1952. 371 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- EMBRAPA, E. B. D. P. A. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produções de Informações; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p., 2006.
- MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; TSUIOSHI, Y. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. P. 115-118.
- MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar : uma introdução ao procedimento prático**. – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 168). 1ª Edição. Disponível em: [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2012/doc\\_168.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf). Acesso em: 19 set. 2014.
- OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná. Revista **Scientia Agrária**. Curitiba, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.
- SCARPARI, M. S. **Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (Saccharum spp) através de parâmetros climáticos**. 2002. 94 p. Dissertação (Mestrado Fititecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SEPLAG-EMATER **Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.scp.rs.gov.br/atlas>. Acesso em: 20 set. 2015.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo Mosicas**. 2006. 60 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SUGUITANI, C.; MATSUOKA, S. Efeitos do fósforo nas características industriais agrícola em cana-de-açúcar (cana planta) cultivada em duas regiões do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CINECIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Ciência do solo**: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade; resumos... Londrina: SBCS, 2011. P. 119.

VERISSIMO, M. A. A. **Desempenho agrônômico de genótipos de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. 2012. 81p.

## 4 CAPÍTULO II

### INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO CRESCIMENTO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ: SAFRAS 2016/2017/2018

#### RESUMO

Estudos que caracterizem as exigências climáticas e a relação com o crescimento e desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar são necessários para a otimização do manejo da cultura nos distintos ambientes de produção. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das condições meteorológicas no crescimento de diferentes genótipos de cana-de-açúcar na região noroeste do Estado do Paraná nas safras 2016/2017 e 2017/2018. O estudo foi conduzido na Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar, da Universidade Federal do Paraná, integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. Foram avaliadas as variedades RB036066, RB867515, RB966928 e o clone PRBIO588 de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) utilizando-se o delineamento de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições. Realizou-se medidas biométricas e de massa seca ao longo dos dias após o plantio e corte. Foram avaliados: a taxa de crescimento da cultura, perfilhamento, índice de área foliar, fração de interceptação ao longo dos dias após o plantio, dias após o corte e graus-dias acumulados. Foi determinado a relação entre massa seca e radiação solar acumulada e a influência das condições meteorológicas durante os ciclos no crescimento e desenvolvimento da cultura. Em cana planta, o genótipo RB966928 apresentou o maior índice de área foliar, a maior taxa de crescimento da cultura e produtividade. O clone RBIO588 apresentou o menor índice de área foliar e exigiu maior acúmulo de graus-dias para elevar a taxa de crescimento da cultura. A máxima fração de interceptação de radiação da variedade RB867515 não indicou necessariamente maior IAF e produtividade. Em ciclo de cana soca, o genótipo PRBIO588 apresentou o maior IAF devido ao número de colmos, mas foi o menos produtivo devido a massa individual de colmos. A variedade RB867515 foi a mais produtiva. Devido as condições de temperatura e radiação solar mais elevada na fase inicial do ciclo de cana soca, os genótipos atingiram valores mais elevados de número de colmos, índices de área foliar, fração de radiação solar interceptada e conseqüentemente, produtividade mais elevada, com a mesma quantidade de graus-dias acumulados do ciclo cana planta. A eficiência do uso de radiação solar das variedades foi maior no ciclo de cana soca, devido as mais adequadas condições meteorológicas ao crescimento e desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: IAF. Perfilhamento. *Saccharum* spp. Graus-dias. EUR.

**INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE GROWTH OF  
SUGARCANE GENOTYPES IN THE NORTHWEST REGION OF THE STATE OF  
PARANÁ: HARVEST 2016/2017/2018**

ABSTRACT

Studies that characterize climatic requirements and the relationship with the development and growth of sugarcane varieties are necessary for the optimization of crop management in the different production environments. The objective of this work was to evaluate the influence of weather conditions on the growth of different sugarcane genotypes in the northwest of Paraná State in the 2016/2017 and 2017/2018 crops. The study was conducted at the Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar of the Universidade Federal Paraná, part of the Interuniversity Network for the Development of the Sugarcane Sector. The varieties RB036066, RB867515, RB966928 and the clone PRBIO588 of sugarcane (*Saccharum* spp.) were evaluated, using a randomized block design in a plot scheme subdivided in time, with four replicates. Biometric and dry mass measurements were performed throughout the days after planting and cutting. The growth rate of the crop, tillering, leaf area index, interception fraction along the days after planting, days after harvesting and cumulative days were evaluated. The relation between dry mass and accumulated solar radiation and the influence of the meteorological conditions during the cycles in the growth and development of the culture were determined. In cane plant, genotype RB966928 presented the highest index of leaf area, the highest rate of growth of the crop and productivity. The highest fraction of radiation interception of the variety RB867515 did not necessarily indicate higher LAI and productivity. In the cane ratoon cycle, the PRBIO588 genotype showed the highest LAI due to the number of stalks, but it was the least productive because of the individual stem mass. The RB867515 variety was the most productive. Due to the higher temperature and solar radiation conditions in the initial phase of the cane ratoon cycle, the genotypes reached higher values of number of stalks, leaf area indexes, intercepted solar radiation fraction and consequently, higher productivity, with the same quantity of accumulated degrees of the cane plant cycle. The efficiency of the use of solar radiation of the varieties was greater in the cycle of cane ratoon, due to the most suitable meteorological conditions to the growth and development of the culture.

Keywords: LAI. Tillering. *Saccharum* spp. Degree-days. EUR.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura amplamente cultivada no Brasil. Na safra 2018/2019 estima-se que no Brasil a área colhida deve atingir 8.661,4 mil hectares, com produção de 635,51 milhões de toneladas na safra (CONAB 2018).

Devido à diversidade genética e a influência do ambiente de produção no crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, o desempenho agrícola das variedades utilizadas são distintos dependendo da época de plantio/corte e do local de cultivo, existindo intensa influência das condições climáticas na produtividade das variedades cultivadas (MARAFON, 2012).

Pesquisas que visam relacionar as condições edafoclimáticas com a produtividade da cana-de-açúcar são importantes para o desenvolvimento sustentável da produção (AIMEIDA, 2008; ARAÚJO et al., 2017). Essas informações são necessárias, por exemplo, para a adequada calibração de modelos agrícolas de simulação de crescimento, que têm como objetivo prever os riscos de produção e rendimento esperado do cultivo (COSTA et al., 2014; MARIN et al. 2014; MARIN et al., 2017; SOUZA et al., 2017).

Entre os parâmetros utilizados na modelagem agrícola, a variação do índice de área foliar (IAF) durante o ciclo de uma cultura é importante para que se possa modelar o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade da cultura (TERUEL, 1995). Diversos são os trabalhos que buscam a relação de variáveis meteorológicas e biométricas com o IAF em culturas agrícolas: Estimativas de IAF baseado na radiação fotossinteticamente ativa (RFA) acima e abaixo do dossel e saldo de radiação na cultura da videira foi elaborado por Teixeira et al. (1997); relação entre dias após o plantio (DAP) e IAF na cultura de crisântemo foi obtida por Folegatti et al. (1997); na cultura de milho encontrou-se relação entre dias após a semeadura, altura de plantas e IAF (CASEIRO et al., 1997); na cultura de pepino, estimativa de IAF utilizando largura e comprimento das folhas e altura da planta foi elaborada por Yang et al. (1990). Têm-se trabalhos que relacionam IAF com a taxa de crescimento e RFA difusa (NEDERHOFF e SCHAPENDONK, 1985; BOTNAR e CHICHKIN, 1989; HEUVELINK e CHALA, 1989), acúmulo de massa seca (HEUVELINK e MARCELIS, 1989), RFA e taxa de crescimento (BRUGGINK e HEUVELINK, 1987; BRUGGINK, 1987). Na cultura da cana-de-açúcar, modelos

exponencias relacionando graus-dias acumulados com o IAF foram elaborados por Teruel (1995).

Além do IAF, o conhecimento da influência da radiação solar no dossel de culturas agrícolas é fundamental para a caracterização do crescimento e desenvolvimento (SINCLAIR e MUCHOW, 1999; FERREIRA JUNIOR et al., 2014; WANG et al., 2015). A radiação interceptada pelo dossel configura a componente mais importante para análise de crescimento (SILVA e COSTA, 2012). Sandaña et al. (2012) afirmam que a taxa de crescimento e massa acima do solo das culturas de trigo e ervilha são altamente relacionadas com a radiação interceptada que, por sua vez, foi relacionada às mudanças no índice de área foliar. Estudos em cultura de milho afirmam que a eficiência no uso de radiação é influenciada diretamente pelo índice de área foliar (FERREIRA JUNIOR et al., 2014). Para as culturas de milho, soja e amendoim, existe uma relação linear entre massa seca e radiação fotossinteticamente ativa durante o ciclo de crescimento (HATFIELD, 2014; ASSUNÇÃO et al., 2008). Além disso, assim como o IAF, as informações relacionadas a radiação solar interceptada são vastamente utilizadas em modelos agrícolas de simulação de crescimento (LIU e BULL, 2001; MARIN e JONES, 2014; MARIN et al., 2014; MARIN et al. 2015; MARIN et al., 2017; SOUZA et al. 2017).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das condições meteorológicas no crescimento de diferentes genótipos de cana-de-açúcar na região noroeste do Estado do Paraná durante duas safras.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar (PMGCA), pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento Sucroenergético (RIDESA), localizada no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, Brasil (22° 58' 41.21" S 52° 28' 4.836" O, 470 m). De acordo com a Classificação Climática de Köppen o clima da região é o Cfa, (Iapar, 2018). O solo da área experimental é classificado como latossolo vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013).

A correção do solo, adubação e controle de plantas daninhas foram realizados conforme indicações técnicas para cultura. A irrigação foi realizada por um sistema de gotejamento superficial, com tubos gotejadores tipo fita, de 16 mm de diâmetro, distribuídos nas linhas de cultivo. Os emissores, espaçados em 0,3 m, funcionaram com vazão de 1,8 L h<sup>-1</sup>. Os eventos de irrigação foram executados com base no conteúdo de água no solo, obtido por meio da sonda Falker®, acionados quando a mesma registrava 14% de conteúdo de água no solo e desligado quando atingia 20%.

Foram avaliadas três variedades: RB036066, RB867515, RB966928, e um clone PRBIO588 (CO62175 x RB97715), de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). O plantio foi realizado no dia 20 de abril de 2016 e o corte realizado dia 29 de junho de 2017. As avaliações ocorreram durante sete períodos após o plantio (DAP) em ciclo de cana planta e, seis períodos após o corte (DAC) em ciclo de cana soca, conforme tabela 2. No plantio utilizou-se toletes de 3 gemas, com 10 cm de profundidade e distribuição de 18 gemas por metro. Foi adotado o delineamento em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições. Para cada genótipo avaliado, a parcela experimental foi composta por seis linhas de 31 m de comprimento e espaçamento de 1,5 m entrelinhas. Para fins de avaliação, foram utilizadas as quatro linhas centrais.

As massas frescas e seca foram mensuradas na parte aérea total com a coleta de um metro da parcela (TABELA 3). Desta amostra, foi retirada aleatoriamente uma subamostra de 5 colmos, realizando-se nova pesagem. Após, esta foi triturada e mantida em estufa de ventilação forçada, com temperatura de 65°C, até atingir massa constante.

Tabela 2 – Datas de amostragem com os respectivos dias após o plantio (DAP) e graus-dias (GD) acumulados, com temperatura base de 16 °C. Ciclo de cana planta no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017.

Amostragem	Data	DAP	GD acumulados (°dia)
1	18 de agosto de 2016	120	453
2	21 de setembro de 2016	156	613
3	31 de outubro de 2016	194	894
4	8 de dezembro de 2016	232	1249
5	1 de fevereiro de 2017	288	1807
6	10 de março de 2017	324	2211
7	10 de maio de 2017	385	2652

Amostragem	Data	DAC	GD acumulados (°dia)
1	27 de outubro de 2017	120	795
2	2 de dezembro de 2017	156	1087
3	25 de janeiro de 2018	210	1619
4	5 de março de 2018	249	1978
5	10 de abril de 2018	285	2339
6	25 de maio de 2018	330	2663

Para a determinação da área foliar (AF), foram digitalizadas todas as folhas fotossinteticamente ativas dos 5 colmos supracitados, com o uso de escâner portátil modelo Canon Lide 210®. Após a digitalização, a área de cada folha foi mensurada com o software WinMacFolia Pro 2014a®, e expressa em cm<sup>2</sup> (Regent Instruments Canada Inc 2014).

A obtenção de dados de temperatura do ar (°C), precipitação (mm) e radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) deu-se por meio da utilização de estação meteorológica automática, modelo Davis Vantage PRO2, instalada na área experimental (FIGURA 7).

O cálculo dos graus-dias (GD, °C dia<sup>-1</sup>), foi realizado a partir da equação:

$$GD \text{ (}^\circ\text{C dia}^{-1}\text{)} = \frac{(T_{\max} - T_{\min})}{2} - T_b \quad (1)$$

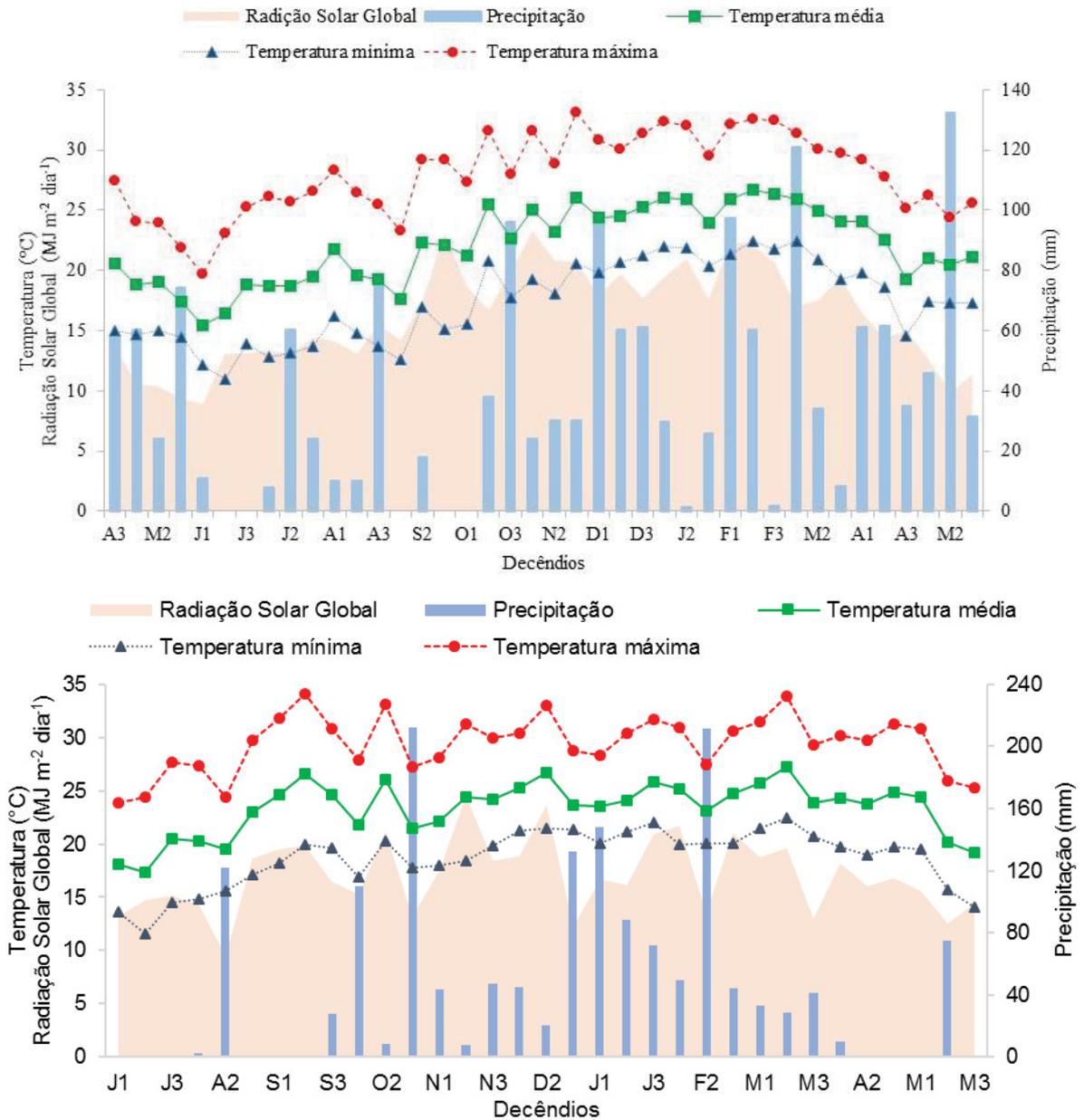
em que  $T_{\max}$  e  $T_{\min}$  correspondem a temperaturas máxima e mínima, respectivamente,  $T_b$  é a temperatura base, na qual utilizou-se o valor de 16 °C (SINGELS et al., 2005). A soma térmica ou tempo termal (GD acumulado) foi estimado com o acúmulo de GD ao longo do ciclo.

A conversão das áreas foliares amostradas (AF) para área foliar total (AT) dá-se pela equação:

$$AT \text{ (m}^2\text{)} = \frac{PF}{Pf} \times \frac{AF}{S} \quad (2)$$

onde PF é a massa fresca total referente a 1 metro da amostra, Pf é a massa fresca da subamostra (cinco perfilhos/colmos), e S é o espaçamento das entrelinhas. As

informações de massa seca foram obtidas a partir da extrapolação dos dados coletados, expressos em  $g\ m^{-2}$ .



Com os dados de massa seca (MS) e área foliar (AF) obtidos citados na TABELA 2, foram calculados (MAGALHÃES 1985; BENINCASA 2003): Taxa de produção de massa seca por unidade de área do solo, i.e., taxa de crescimento da cultura (TCC):

$$\text{TCC (g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) = \frac{(\text{MS}_2 - \text{MS}_1)}{s(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

Onde  $\text{MS}_2$  e  $\text{MS}_1$  são as massas secas finais e iniciais dentro do intervalo  $t_2$  e  $t_1$ .

O índice de área foliar (IAF), dado pela relação:

$$\text{IAF (m}^2\text{m}^{-2}) = \frac{\text{PF}}{\text{Pf}} \times \frac{\text{AF}}{\text{S}} \quad (4)$$

A fração de radiação fotossinteticamente ativa (FRI) interceptada foi obtida com o uso de barras RFA, modelo Apogee, em linha e previamente calibradas, instaladas no topo do dossel e entre a última folha verde (fotossinteticamente ativa) e a folha seca. Os dados foram armazenados em intervalos de uma hora no datalogger modelo Campbell CR1000®, posicionado no centro da área experimental.

A fração de radiação interceptada (FRI) indica a radiação solar potencial que poderá ser usada no processo de fotossíntese pela cultura. Para calculá-la, foram realizadas as medidas de radiação transmitida,  $I_t$ , após atravessar a camada com as folhas verdes do dossel, e a radiação solar incidente no topo do dossel da cultura,  $I_o$ , utilizando a equação abaixo:

$$\text{FRI} = 1 - \frac{I_t}{I_o} \quad (5)$$

A eficiência do uso de radiação solar (EUR) foi obtida pela quantidade de radiação interceptada acumulado no dossel por genótipo e o acúmulo de massa seca, em ambos os ciclos de avaliação. A  $R_g$  acumulada foi definida pelo somatório diário de  $R_g$  interceptada pelo dossel, ao longo do ciclo da cultura. A eficiência no uso de  $R_g$  (EUR) foi definida a partir do coeficiente angular  $\beta_1$  das equações ajustados para relação entre o acúmulo de massa seca total da parte aérea da cana-de-açúcar e os valores acumulados de  $R_g$ .

Analisou-se a taxa de crescimento da cultura (TCC), o número de perfilhos ao longo do ciclo (NP), o índice de área foliar (IAF), a fração de radiação solar interceptada (FRI) e a eficiência do uso de radiação solar (EUR).

Realizou-se análise de regressão e a significância dos parâmetros de ajuste das curvas foram testados a 5% e 1% de probabilidade de acordo com o teste t. Para a TCC, NP, IAF e FRI, Massa seca e massa fresca foram utilizados como variáveis explicativas os valores de dias após o plantio e corte (DAP, DAC) e graus-dias (GD) acumulados.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de crescimento da cultura (TCC) mostra que até os 120 DAP não houve valor expressivo de acréscimo de massa seca no ciclo de cana planta (FIGURA 8A). Aos 160 DAP a TCC é similar para os quatro genótipos. Em seguida, a variedade RB966928 aumenta expressivamente o valor de TCC, representando maior acúmulo de massa seca por dia comparado aos demais genótipos. O clone PRBIO588 produziu a menor massa fresca ao fim do ciclo de cana planta (FIGURA 9A), porém, mesmo apresentando a menor TCC até os 280 DAP, foi o segundo maior em valor de massa seca acumulada (FIGURA 10A, TABELA 3).

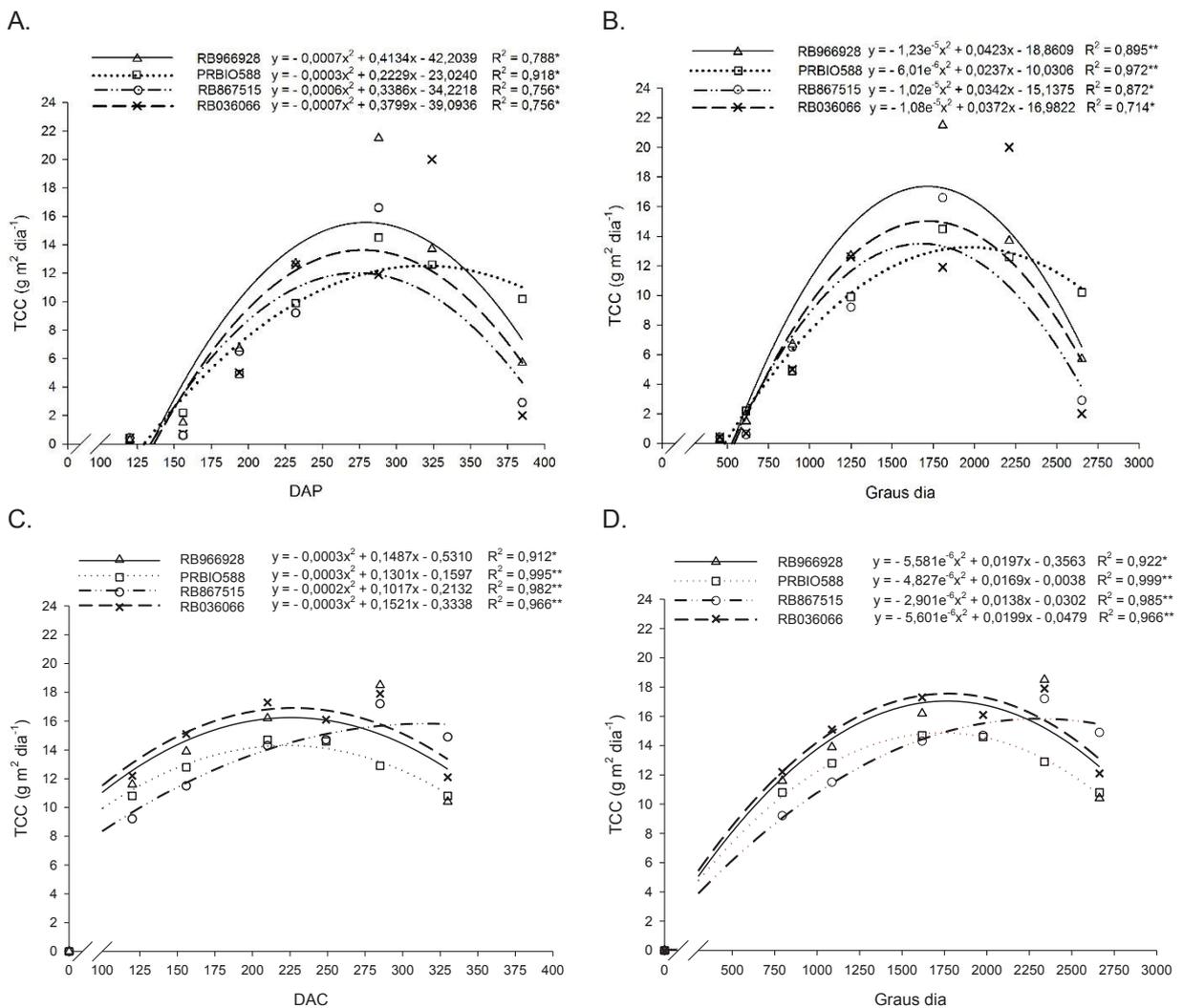


FIGURA 8 – Taxa de Crescimento da Cultura (TCC): Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.

\*, \*\*, significativo a 5 e a 1% pelo teste t

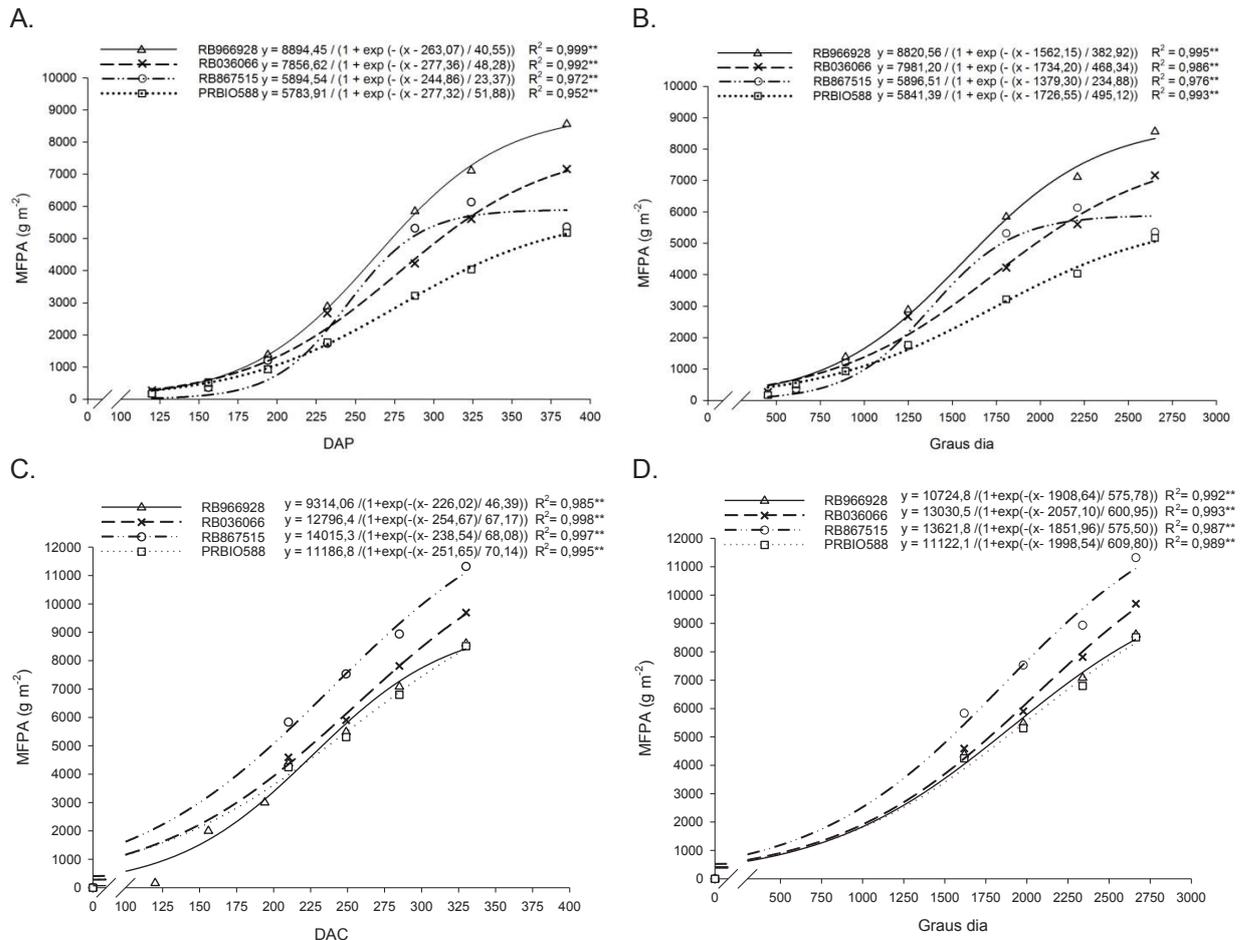


FIGURA 9 – Massa fresca parte aérea (MFPA): Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.

\*, \*\*, significativo a 5 e a 1% pelo teste t

TABELA 3 - Massa fresca e massa seca em ciclo de cana planta e soca, no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safras 2016/2017 e 2017/2018 ( $T_b = 16^\circ\text{C}$ ).

Genótipo	Massa Fresca ( $\text{g m}^{-2}$ )		Massa Seca ( $\text{g m}^{-2}$ )	
	Cana planta	Cana soca	Cana planta	Cana soca
RB966928	8558,3 aA <sup>1</sup>	8606,4 bA	2041,5 aB	2653,3 bA
PRBIO588	7140,0 aB	8514,0 bA	1881,3 aB	2481,8 bA
RB036066	7163,3 aB	9695,4 abA	1509,5 bB	2798,3 bA
RB867515	5358,4 bB	11315,7 aA	1216,0 bB	3183,4 aA
Média	7055,0	9532,9	1662,1	2779,2

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O decréscimo da TCC próximo aos 280 DAP para as variedades e 320 DAP para o clone, pode estar relacionado com a queda de radiação solar, temperatura (FIGURA 7A), com a senescência foliar e ao processo de maturação de cada genótipo.

Em ciclo de cana soca, a TCC inicial dos genótipos avaliados é mais elevada em relação a cana planta. Nota-se que aos 120 DAC a TCC apresenta valores que em cana planta foi atingido após os 200 DAP (FIGURA 8A e 8C). Em cana soca, o

acúmulo de massa fresca e seca ocorrem mais cedo em relação ao ciclo passado, necessitando menos dias para atingir os mesmos valores obtidos em cana planta como pode ser observado nas figuras 9 e 10, corroborando estudos de Berton (2014).

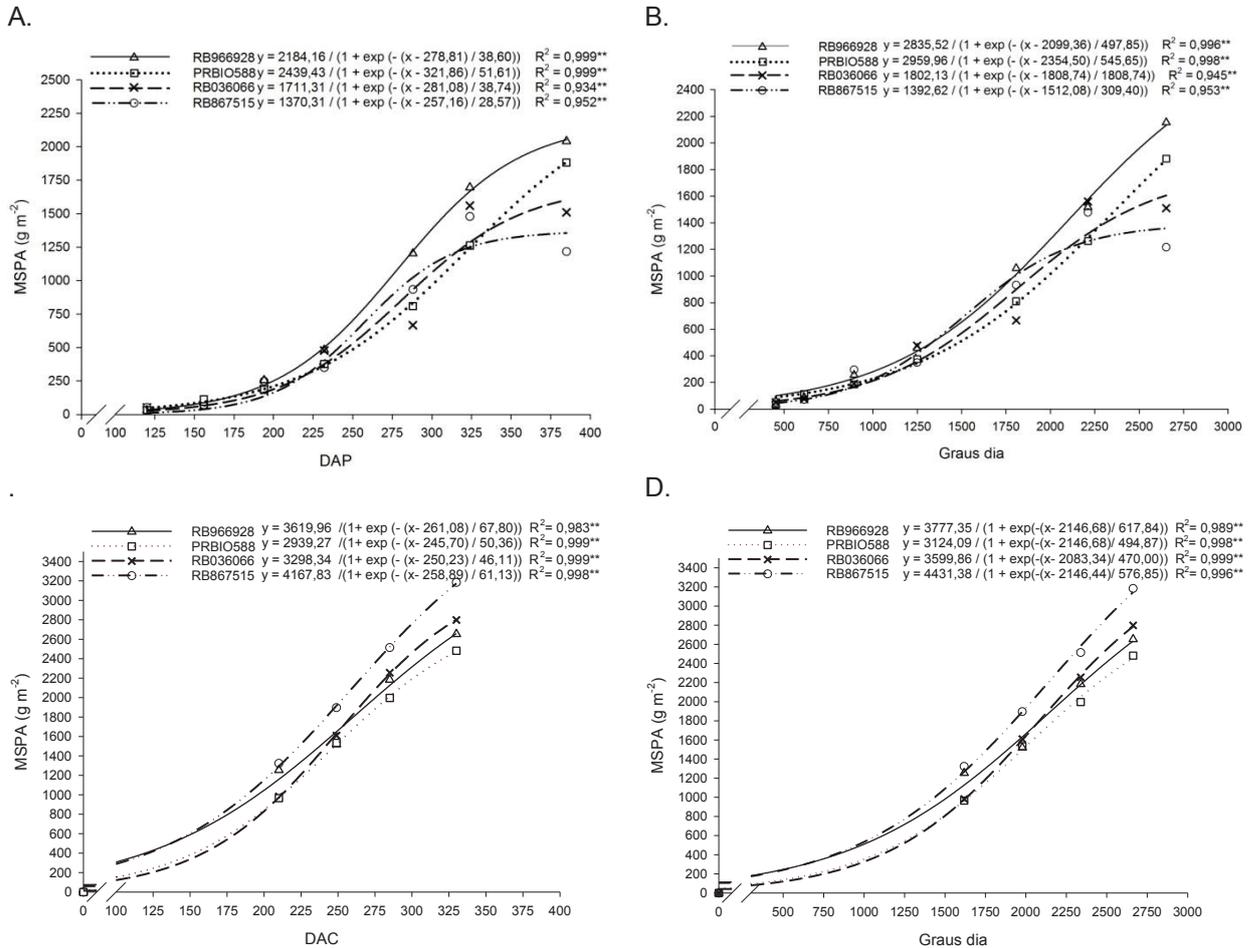


FIGURA 10 – Massa seca da parte aérea (MSPA): Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.

\*, \*\*, significativo a 5 e a 1% pelo teste t

Em cana planta, a variedade RB966928 apresentou valores superiores de TCC em relação aos demais genótipos até os 345 DAP. Este fato refletiu na quantidade de massa fresca e seca final desta variedade, que foi superior aos demais genótipos ao fim do ciclo avaliado (FIGURA 9, TABELA 3).

Já em cana soca, foi a variedade RB036066 que apresentou valores superiores de TCC até os 285 DAC e, a partir desta data, a RB867515 foi a variedade com valores mais elevados de TCC. Esta combinação resultou em produtividade diferentes da cana planta (TABELA 3). A RB867515 foi a maior em produção de massa fresca e seca, seguida da RB036066.

Em relação aos graus-dias acumulados em cana planta, o acúmulo de massa seca é crescente nas três variedades estudadas até aproximadamente 1800°C dias, seguido de decréscimo. O clone requer maior exigência de graus-dias, com aumento da TCC até aproximadamente 2100°C dias, i.e., o clone necessita de mais graus-dias para acumular massa seca (FIGURA 8B). Após 600°C dias, observa-se que a variedade RB966928 apresentou superioridade para TCC até aproximadamente 2300°C dias, comparada aos demais genótipos.

O uso de graus-dias como variável explicativa permite associar a temperatura do ar com o crescimento da cultura (SINCLAIR et al., 2005). Observa-se que em todos os genótipos avaliados, o maior acúmulo de massa fresca e seca coincide com os meses de temperaturas mais elevadas, de outubro a março (FIGURA 7A, 9D, 10D). A diminuição na velocidade de acúmulo de massa fresca ao fim do ciclo é consequência de menores temperaturas, incidência de radiação solar e característica da cultura da cana-de-açúcar.

Este fato ocorre também no ciclo de cana soca, onde tem-se as maiores taxas de crescimento da cultura entre os meses de outubro a março, de 587 a 2250°C dias. Este período compreende um crescente aumento de massa fresca e seca em todos os genótipos avaliados.

A elevação inicial de TCC mais rápido em ciclo de soca quando comparada ao ciclo de planta tem relação com as condições do ambiente. Em planta, foram necessários 130 dias para acumular 500°C dias, enquanto em ciclo de soca foram necessários 84 dias para acumular a mesma quantidade de soma térmica. Este fato salienta a utilização de graus-dias para avaliação do crescimento e desenvolvimento de genótipos de cana-de-açúcar, uma vez que possui relação com condições de temperatura do ambiente.

Aos 385 DAP e 330 DAC, as somas térmicas foram, respectivamente, 2652 e 2663°C dias (TABELA 3). Nota-se que a produtividade de massa seca foi maior em cana soca em todos os genótipos, apesar do ciclo ter sido 55 dias mais curto. Isto aconteceu por alguns fatores.

Em cana soca, a planta não gasta energia no início do ciclo para a formação de raízes e rizomas, pois, o sistema radicular do ciclo anterior permanece ativo por 60 dias (BERTON, 2014). Assim, viabilizou TCC inicial mais elevado e acúmulo de massa mais rápido em soqueira (FIGURA 8, 9 e 10).

Outra questão, foram as condições de temperatura mais elevadas durante o

ciclo de cana soca, no qual forneceu condições de temperatura mais adequada ao crescimento e desenvolvimento inicial e, viabilizou a mesma soma térmica em menos dias de cultivo (FIGURA 7B).

No ciclo de cana planta, o perfilhamento máximo observado ocorreu na variedade RB966928, com 14,4 perfilhos  $m^{-2}$ , próximo aos 150 DAP, ao estimar com uso de dias após o plantio, e de 14,2 perfilhos  $m^{-2}$  aos 700°C dias acumulados (FIGURAS 11A e 11B). As variedades RB036066 e RB867515 apresentaram máximos de 8,7 e 6,9 perfilhos  $m^{-2}$ , respectivamente, estimados com DAP e de 8,2 e 6,9 perfilhos  $m^{-2}$ , estimados com graus-dias. O clone PRBIO588 atingiu máximos de 12,8 e 11,1 perfilhos  $m^{-2}$ , estimados com DAP e graus-dias acumulados, respectivamente.

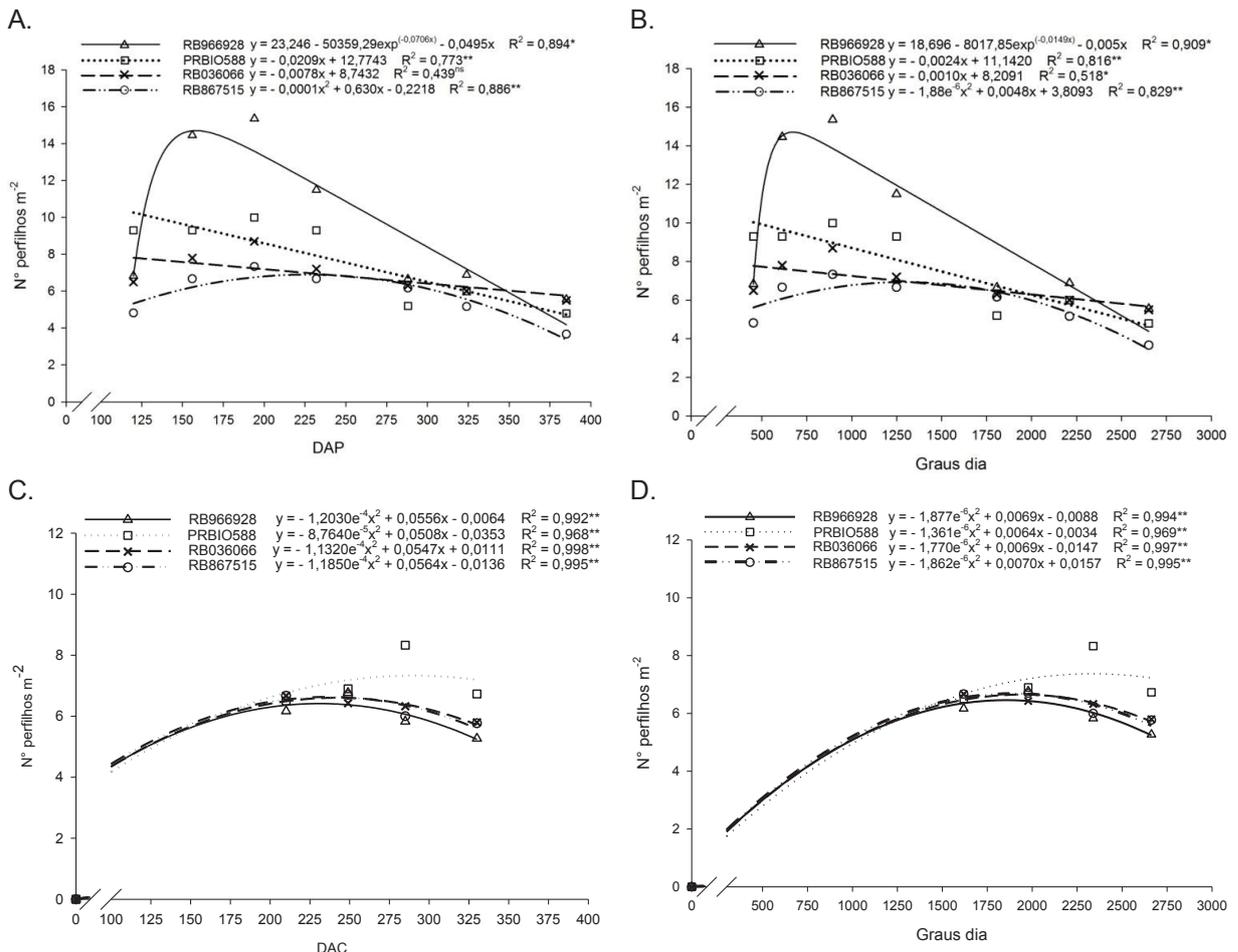


FIGURA 11 – Número de perfilhos ( $m^{-2}$ ) em função dos dias após o plantio/corte (esquerda) e graus-dias (direita). Temperatura base utilizada de 16°C. Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.

\*, \*\*, significativo a 5 e a 1% pelo teste t

Estudos evidenciam que ambientes de temperatura e radiação solar mais

elevadas são propícios para elevar a quantidade de perfilhos em cana planta, enquanto ambientes em que a fase de perfilhamento coincide com restrição de temperatura e radiação solar o perfilhamento é reduzido (SINGELS et al. 2005, ALMEIDA et al. 2008, COSTA et al. 2008, ARAÚJO et al. 2017).

No presente estudo, devido à época de plantio, o início do ciclo coincidiu com os meses de menores aportes de temperatura e radiação solar (maio, junho, julho e agosto) (FIGURA 7A). O máximo perfilhamento foi observado ao fim de outubro para as variedades, corroborando com os estudos de Ido (2003).

Na última coleta realizada em cana planta (385 DAP), a variedade RB966928 não apresentou o maior número de colmos industrializáveis, no entanto, foi a mais produtiva em quantidade de massa fresca e seca (TABELAS 3 e 4). A RB867515 resultou em segunda na quantidade de massa fresca e seca por colmo em cana planta, porém, devido ao baixo valor de colmos ( $m^{-2}$ ), a produtividade obtida foi a menor (TABELAS 3 e 4).

TABELA 4 -Número de colmos, massa fresca e massa seca de colmo em ciclo de cana planta e soca, no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safras 2016/2017 e 2017/2018 (Tb = 16 °C).

Genótipo	Massa Fresca de colmo (g)		Massa Seca de colmo (g)		Número de colmos ( $m^{-2}$ )		
	Cana planta	Cana soca	Cana planta	Cana soca	Cana planta	Cana soca	Média
RB966928	1592.4 aA <sup>1</sup>	1509.2 bcA	383.0 aB	465.3 bA	5,3	5,8	5,6b
PRBIO588	1152.6 bA	1286.9 cA	299.2 bB	375.1 cA	6,3	6,7	6,5a
RB036066	1302.4 abB	1684.2 bA	274.9 bB	486.1 bA	5,5	5,8	5,6b
RB867515	1465.7 abB	2154.7 aA	331.7 abB	606.2 aA	3,7	5,3	4,5c
Média	1378.3	1658.7	322.2	483.2	5,2B	5,9A	5,5

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O clone PRBIO588 apresentou o maior número de colmos, foi o terceiro genótipo mais produtivo em massa fresca e o segundo em massa seca (TABELA 3). Contudo, a massa fresca e seca atingidas pelos colmos individuais foram de 1152,6 e 299,2 g, respectivamente. Isto evidencia que, um genótipo apresentar número superior de colmos ao fim do ciclo, não necessariamente implicará em maiores produtividades, pois, a produtividade da cultura da cana-de-açúcar é resultado da densidade de colmos industrializáveis associada à massa do individual do colmo.

Em ciclo de cana soca, o máximo número de perfilhos observado foi na PRBIO588 (7,3 aos 290 DAC; 7,5 aos 2351°GD), seguido da RB867515 (7,0 aos 249 DAC; 6,6 aos 1889°C dias) (FIGURAS 11C e 11D). A variedade RB966928 que atingiu valores mais elevados em cana planta, ficou em última em ciclo de cana

soca, com valores de 6,4 aos 231 DAC e 6,3 aos 1838° C dias.

Obteve-se na variedade RB966928 ao fim do ciclo de cana soca os mesmos rendimentos de massa fresca de cana planta. Isto pode ser explicado em função da soma térmica no ciclo de cana soca atingir valores semelhantes à cana planta, com aproximadamente 2660°C dias.

A temperatura média nos últimos 90 dias de ambos ciclos foram de 23,8°C e 23,9°C, respetivamente, em ciclo de cana planta e cana soca. A Rg incidente neste período foi de 17,2 e 16,6 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> respectivamente. Desta forma, as condições de temperatura e radiação foram similares ao fim dos ciclos, não sendo as variáveis meteorológicas responsáveis pelas diferenças nas massas secas.

As diferenças de massas secas apresentada por colmo foi resultado da precipitação. Em planta foram 428,8 mm e soca 252,4 mm neste período final. Assim, a baixa precipitação em soca no fim do ciclo foi propícia para a maturação dos genótipos, contribuindo para a mais elevada massa seca por colmo em cana soca.

Os demais genótipos apresentaram aumento na quantidade de colmos industrializáveis no final do ciclo de cana soca em relação ao ciclo de cana planta. O que pode ter influenciado a quantidade de colmos industrializáveis foi a temperatura média nos quatro primeiros meses, onde em planta a média foi de 18,7°C e em soca foi 22,0, i.e., 7% acima do ciclo anterior. Estudos de Jadoski et al. (2010) e Araújo et al. (2017) afirmam que temperaturas elevadas no início do ciclo são importantes para a quantidade de colmos que se tornarão industrializáveis.

Dias com temperaturas médias mais elevadas na fase de perfilhamento tornam-se propícios para o aumento da quantidade de perfilhos. Plantios realizados em meses mais quentes apresentam número máximo de perfilhos mais elevado que plantios ocorridos em meses mais frios (SINGELS et al., 2005, ARAÚJO et al., 2017). Assim, o baixo valor do máximo de perfilhos apresentado em cana planta no presente trabalho pode estar associado à época em que ocorreu o plantio, que coincidiu com época do ano de menor temperatura e incidência de radiação solar (FIGURA 7A).

Adicionalmente, o ano de 2016 foi atípico ao se analisar as condições de radiação solar no outono (abril, maio e junho) e inverno (julho, agosto e setembro). Neste ano, as condições de Rg no outono e inverno foram 6,6 e 7,8 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Ou seja, a incidência de Rg no outono foi de 15,4% menor que no inverno, o que

prejudicou o arranque inicial do ciclo.

Na safra de 2017, foi registrado ainda um outono com condições de baixa incidência de  $R_g$ , com média de  $6,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Porém, o início do ciclo de cana soca coincidiu com o inverno, que registrou média de  $11,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , i.e., condições de  $R_g$  mais propícias ao crescimento e desenvolvimento inicial do que o ciclo de cana planta.

O ano seguinte, 2018 e 2019 registraram valores de  $14,0$  e  $12,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  no outono, respectivamente, corroborando o fato de que 2016 e 2017 o outono foi de baixa incidência de radiação solar global.

Entre os genótipos avaliados em ciclo de planta, a variedade mais estável em quantidade de colmos foi a RB036066, com redução de 34,3% na quantidade de perfilhos em relação ao máximo atingido. Em seguida, encontra-se a variedade RB867515, com redução de 55,4%. O clone PRBIO588 e a variedade RB966928 apresentaram 62,8% e 65,7% de redução do número de perfilhos, respectivamente. Sob condições de clima temperado e plantio no início da primavera (outubro), a RB966928 e RB867515 apresentaram quedas de 39,8% e 52,68%, respectivamente, enquanto as variedades RB92579 e RB855156 apresentaram redução de 43,6% e 49,6% (ARAÚJO, 2016).

No presente estudo, para que os genótipos RB867515 e RB966928 possam emitir um novo perfilho em cana planta, foram necessários o acúmulo, respectivamente, de 192 e  $52,8^\circ\text{C dia}^{-1}$ . Observa-se que o genótipo RB966928 que exige menor GD acumulado coincide com maior massa seca acumulada. As diferenças apresentadas pelos genótipos evidenciam as diferenças genéticas e de adaptabilidade dos mesmos.

Baseado nos graus-dias, a variedade RB966928 resultou no maior índice de área foliar (IAF),  $1,85 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  aos  $1997^\circ\text{C dias}$  (FIGURAS 12A e 12B). O menor IAF foi do clone PRBIO588 com  $1,53 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  aos  $2230^\circ\text{C dias}$ . As variedades RB036066 e RB867515 apresentaram máximos IAF de 1,66 ( $2007^\circ\text{C dias}$ ) e 1,61  $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$  ( $1835^\circ\text{C dias}$ ), respectivamente (FIGURA 12B). Estes valores estão abaixo do encontrado para a cultura, comumente acima de  $3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  (FERREIRA JUNIOR et al. 2012). Adicionalmente, cada genótipo tem diferentes exigências térmicas para atingir o seu respectivo IAF máximo. Neste contexto, observa-se que a variedade RB867515 apresentou a menor exigência térmica, enquanto o clone PRBIO588 foi o de maior exigência.

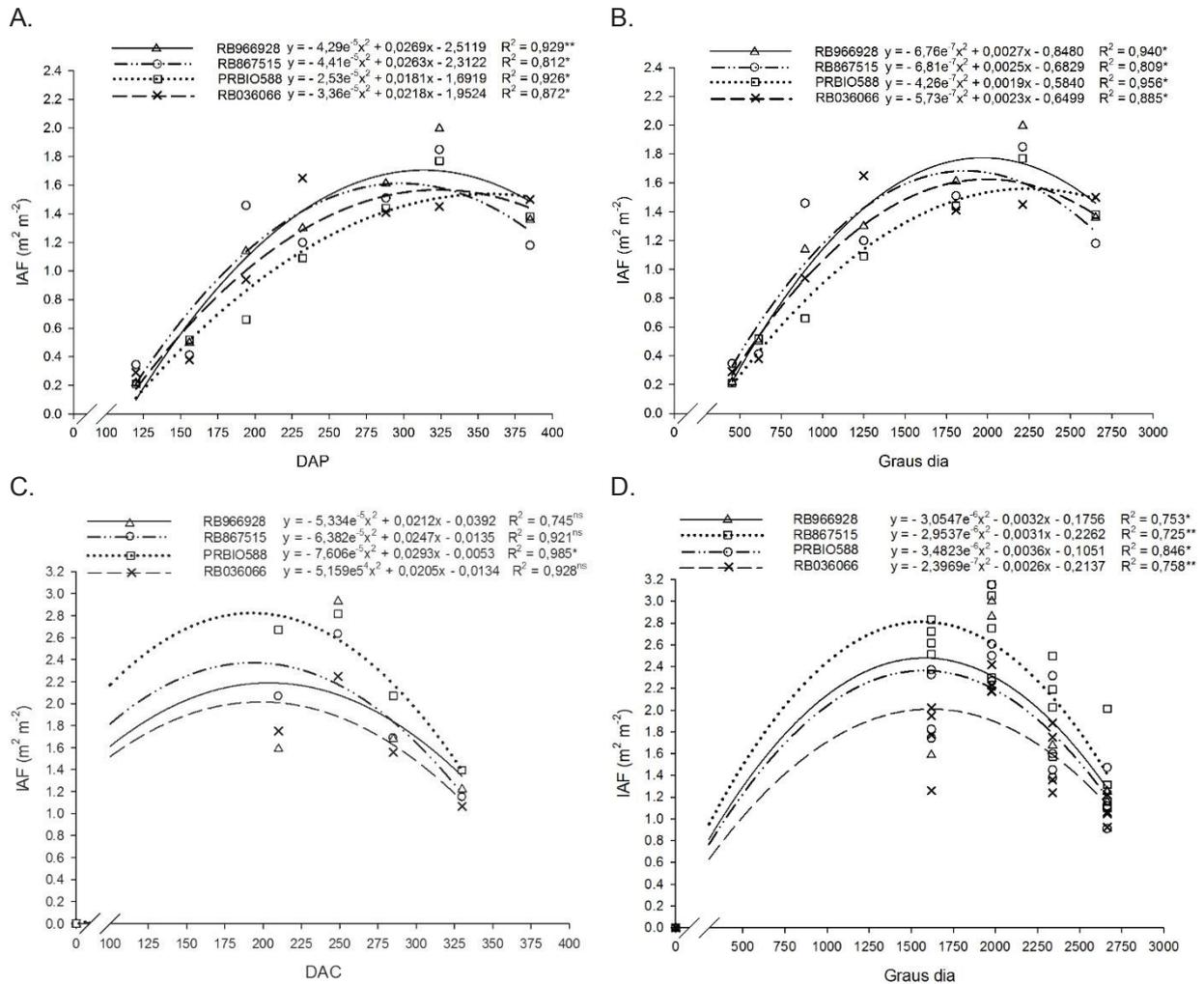


FIGURA 12 – Índice de área foliar (IAF) em função dos dias após o plantio/corte (esquerda) e graus-dias (direita). Temperatura base utilizada de 16°C. Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.

\*, \*\*, significativo a 5 e a 1% pelo teste t

Em ciclo de cana soca, os valores máximos de IAF atingidos foram observados aos 1619°C dias, com valores de 2,77 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> na variedade RB867515, 2,30 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> clone PRBIO588, 2,40 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> na RB966928 e de 1,93 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> na RB036066,

Em cana planta, o rápido aumento do IAF entre 120 e 330 DAP das variedades avaliadas, e dos 120 aos 357 DAP do clone, indicam crescente interceptação de luz que, por sua vez, refletiu na TCC (FIGURA 8A). A partir de 2000°C dias observa-se que o IAF de todas as variedades diminui, enquanto o mesmo ocorre aos 2200 °C dias para o clone (FIGURA 12D). A diminuição no IAF ao fim do ciclo foi observada em diversos trabalhos (FERREIRA JÚNIOR et al., 2012; OLIVEIRA, 2013; ARAÚJO 2016). Isso ocorre devido à redução do surgimento de folhas verdes novas associada à senescência foliar da cultura. Observou-se que

PRBIO588, ao fim do ciclo, possuiu TCC maior que os demais genótipos, indicando acúmulo de massa seca, mesmo com redução de IAF.

O maior número de perfilhos apresentado pela variedade de maturação precoce RB966928 na fase inicial indicou maior elevação do IAF e de massa fresca quando comparada aos demais genótipos (FIGURAS 9B, 11B e 12B).

Ao utilizar os graus-dias acumulados como variável independente nas regressões tem-se um ajuste satisfatório do comportamento do índice de área foliar em relação à temperatura, permitindo associar o crescimento e desenvolvimento do ciclo com a temperatura do ambiente (FIGURA 12D).

Em cana soca, nota-se uma diferença considerável no IAF em relação ao IAF de cana planta. O primeiro fato são os valores mais elevados de IAF em cana soca, resultado do maior número de colmos por metro quadrado atingidos em cana soca (TABELA 4). Outro fato é que, devido ao arranque inicial, os máximos de IAF foram atingidos mais cedo em todos os genótipos, próximos aos 1600°C dias, exigindo menor acúmulo térmico. Esse comportamento mais rápido do IAF em cana soca está relacionado as condições de temperatura e radiação solar durante o ciclo em questão, que estimularam o crescimento e desenvolvimento dos genótipos, resultando em maiores rendimentos.

A porcentagem de radiação interceptada pelo dossel nas variedades avaliadas atingiu valores acima de 60% após 200 DAP, aproximadamente aos 1200°C dias acumulados (FIGURAS 14A e 14B). No clone, este limiar foi ultrapassado aproximadamente aos 250 DAP e 1400°C dias, ratificando que o clone possui exigência térmica maior em relação às variedades para seu crescimento e desenvolvimento neste ciclo.

Em ambiente de clima temperado, no extremo Sul do Brasil, o valor de interceptação de radiação nos meses de radiação incidente mais elevada foi de aproximadamente 90% para RB867515 e RB966928, enquanto para RB92579 foi cerca de 70%, aos 206 DAP, em ciclo de cana planta (Araújo 2016).

No presente estudo, a maior interceptação de radiação solar foi na variedade RB867515, com fração máxima de 0,77 aos 1860°C dias acumulados. Em seguida, tem-se as variedades RB966928 e RB036066 com 0,73 e 0,72, respectivamente, aos 1825 e 2150 GD acumulados. Por último, o clone apresentou 0,71 de fração de interceptação aos 2150 GD acumulados.

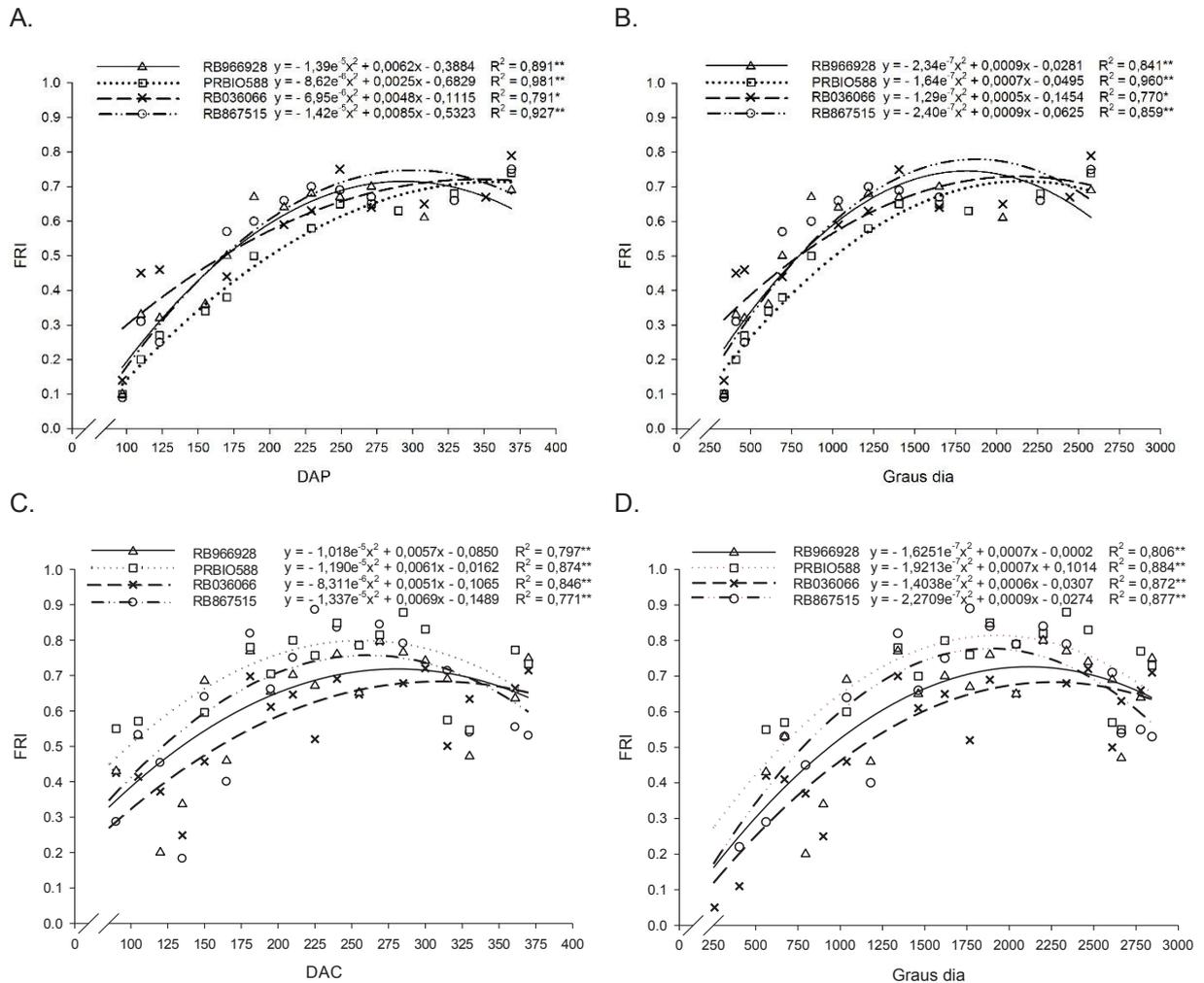


FIGURA 13 – Fração de radiação interceptada (FRI) em função dos dias após o plantio/corte (esquerda) e graus-dias (direita). Temperatura base utilizada de 16°C. Ciclo de cana planta (A e B) e cana soca (C e D) no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.

\*, \*\*, significativo a 5 e a 1% pelo teste t

A RB966928 apresentou a maior produtividade (TABELA 3) e IAF, mas foi a segunda em máxima fração de interceptação de radiação solar em cana planta. Por sua vez, a variedade RB867515, apresentou a menor produtividade, mas mostrou-se superior na fração de máxima interceptação de radiação solar. Isso ocorreu pelo fato de a RB966928 apresentar taxa de crescimento da cultura superior durante o ciclo em relação aos demais genótipos, acumulando maior massa seca final. Além disso, a densidade de colmos industrializáveis por metro quadrado na RB966928 foi superior ao observado na RB867515, colaborando para a diferença na produtividade.

Em ciclo de cana soca, a mais produtiva foi a variedade RB867515, que foi a segunda em fração de interceptação de radiação solar. O clone PRBIO588, assim

como o IAF, foi o genótipo que obteve a mais elevada FRI. Contudo, foi o menos produtivo em massa fresca e seca neste ciclo. A alta FRI e IAF ocorreu devido ao mais elevado número de colmos por metro quadrado e a menor produtividade em relação as demais foi consequência das massas individuais dos colmos (TABELA 4).

Os genótipos de cana-de-açúcar possuem distintas arquiteturas foliares, devido a diferenças de número de folhas, IAF, estatura, ângulo de inserção e distribuição azimutal das folhas no colmo (MADDONNI, OTEGUI 1996). A variedade RB966928 possui arquitetura foliar mais ereta em relação a RB867515, segundo estudos de Araújo (2016), o que pode explicar a diferença no máximo de fração de radiação interceptada em cana planta e, o maior IAF apresentado pela RB966928, que por sua vez aumentou a atividade fotossintética e a produção de massa seca por planta (SANGOI et al. 2001). Em ciclo de soca o genótipo PRBIO588 apresentou o maior IAF devido ao número de colmos, mas foi o menos produtivo devido a massa individual de colmos.

Na figura 14 estão apresentadas as eficiências no uso de radiação dos genótipos avaliados, nos ciclos de cana planta e cana soca. Observa-se que a variedade RB867515 apresentou eficiência de  $0,61 \text{ g MJ}^{-1}$  no ciclo de cana planta de aproximadamente  $1,13 \text{ g MJ}^{-1}$  no ciclo de cana soca. A variedade RB036066 apresentou valores similares, com eficiências de  $0,67$  e  $1,08 \text{ g MJ}^{-1}$ , em ciclo de cana planta e cana soca, respectivamente.

A variedade de ciclo precoce, RB966928 apresentou valores similares de EUR nos dois ciclos avaliados, com valores de  $0,95$  e  $0,90 \text{ g MJ}^{-1}$  respectivamente em ciclo de cana planta e cana soca. O clone por sua vez, foi o único genótipo que apresentou valores menores de EUR em soca, com resultados de  $0,90 \text{ g MJ}^{-1}$  em cana planta e  $0,60 \text{ g MJ}^{-1}$  em cana soca.

Nas variedades de ciclo médio e médio-tardio (RB036066 e RB867515), a diferença apresentada no EUR entre os ciclos é resultado dos valores mais elevados de IAF no ciclo de cana soca em relação ao ciclo de cana planta, visto que, quanto mais elevado o IAF, maior a possibilidade da planta realizar fotossíntese e transformar em massa seca. O mesmo fato ocorreu na variedade precoce RB966928, entretanto, como menos aumento no EUR. No clone PRBIO588, o ciclo de cana soca também apresentou aumento de IAF, porém, a EUR foi menor neste

ciclo, o que pode ser característica genética do clone, diminuir a eficiência ao longo dos cortes.

Para que seja possível obter alta eficiência no uso de radiação solar, é necessário IAF elevado. Neste estudo, notou-se que devido à baixa incidência de radiação solar e temperatura na fase inicial do ciclo de cana planta, resultou em baixo IAF e EUR durante o ciclo, prejudicando a produtividade final de massa seca.

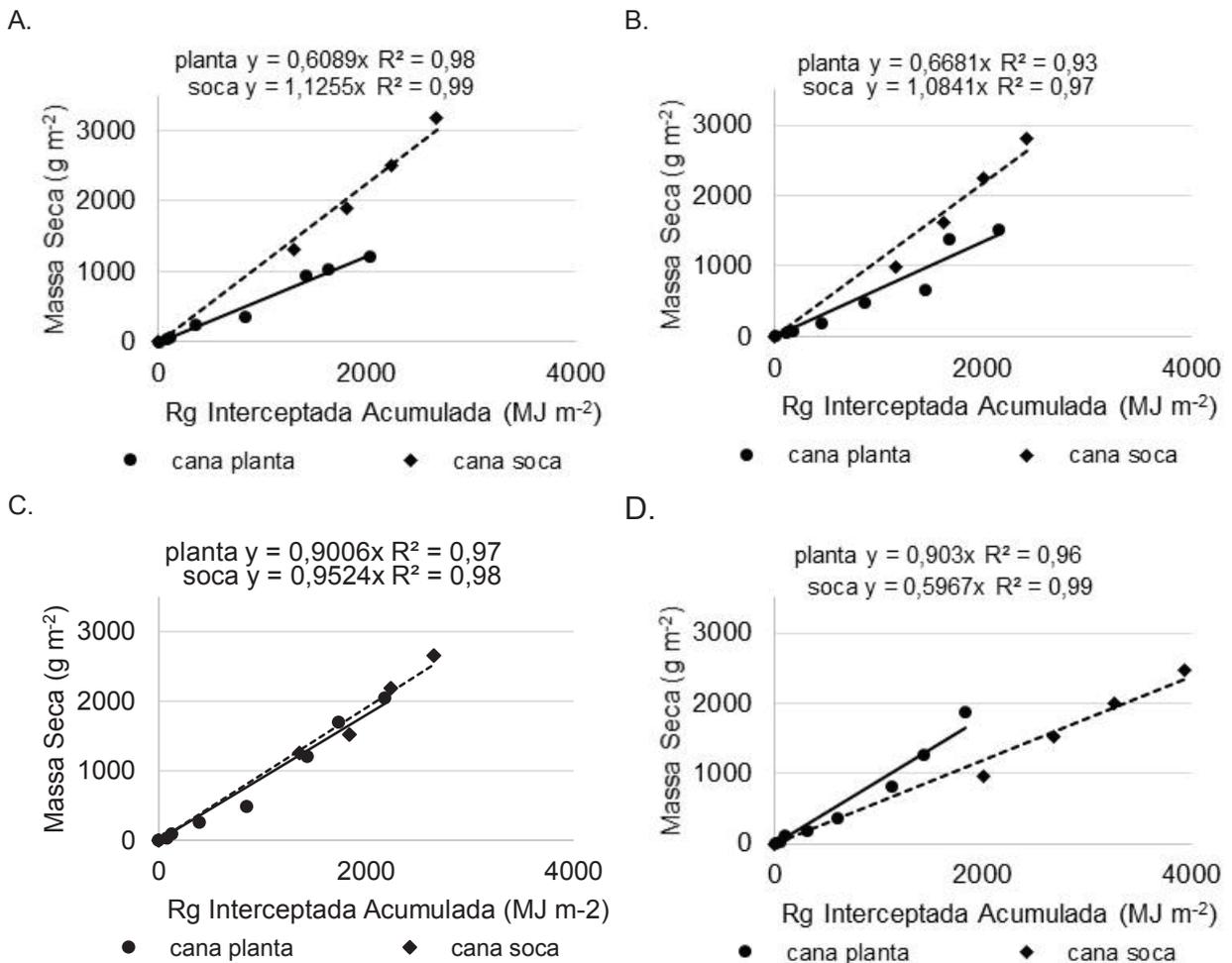


FIGURA 14 - Relação entre massa seca aérea acumulada ( $\text{g m}^{-2}$ ) e radiação solar global (Rg) interceptada acumulada para os genótipos RB867515 (A), RB036066 (B), RB966928 (C) e PRBIO588 (D). Ciclo de cana planta e cana soca no município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná, safra 2016/2017, 2017/2018.

Os valores máximos de EUR observados no presente estudo estão abaixo dos valores citados por Robertson et al. (1996), que encontrou valores de  $1,72 \text{ g MJ}^{-1} \text{ m}^{-2}$  para cana planta situada na Austrália. No nordeste brasileiro, EUR máximos de  $1,96$  e  $1,86 \text{ g MJ}^{-1} \text{ m}^{-2}$  para espaçamento simples e combinado, respectivamente, foram relatados em ciclo de cana planta (FERREIRA et al., 2015). Máximos valores foram observados por Muchow et al. (1997), de  $2,0 \text{ g MJ}^{-1}$  que, de acordo com

Heerden (2010), são os valores máximos de EUR encontrado na literatura para a cana-de-açúcar.

As diferenças dos genótipos na interceptação de radiação revelam que existem características distintas no crescimento e desenvolvimento do dossel, fato que deve ser considerado em trabalhos de modelagem de crescimento agrícola, uma vez que interceptação de radiação e IAF são variáveis explicativas em modelos agrícolas (COSTA et al. 2014, MARIN et al. 2014, MARIN et al. 2017, SOUZA et al. 2017).

#### 4.4 CONCLUSÃO

Em cana planta, o genótipo (RB966928) apresenta o maior índice de área foliar, a maior taxa de crescimento da cultura e produtividade. O clone (PRBIO588) apresenta menor índice de área foliar e exige maior acúmulo de graus-dias para elevar a taxa de crescimento da cultura. A máxima fração de interceptação de radiação da variedade RB867515 não indica necessariamente maior IAF e produtividade.

Em ciclo de cana soca, o genótipo PRBIO588 apresenta o maior IAF devido ao número de colmos, mas é o menos produtivo devido a massa individual de colmos. A variedade RB867515 foi a mais produtiva.

Devido as condições de temperatura e radiação solar mais elevada na fase inicial do ciclo de cana soca, os genótipos atingem valores mais elevados de número de colmos, índices de área foliar, fração de radiação solar interceptada e consequentemente, produtividade mais elevada, com o mesmo valor de graus-dias acumulados de cana planta.

A eficiência do uso de radiação solar das variedades foi maior no ciclo de cana soca, devido as mais adequadas condições meteorológicas ao crescimento e desenvolvimento da cultura.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C. S. et al. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1441-1448, 2008.
- ARAÚJO, R. M. Caracterização morfológica e agrometeorológica da cana-de-açúcar para o ambiente de Clima Temperado. 2016. 113p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.
- ARAÚJO, R. M. et al. Condições agrometeorológicas para perfilhamento máximo da cultura de cana-de-açúcar em dois ambientes distintos de produção. **Agrometeoros**, v.25, n. 1, p.257-264, 2017.
- BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BERTON, G. S. Análise de crescimento e produtividade de sete clones de cana-de-açúcar, em cana-soca, cultivados no município de Paranavaí-PR. 2014. 67p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.
- BOTNAR, V.F.; CHICHKIN, V.P. Programming of vegetable crop yields considering ecological factors. **Acta Horticulturae**, n. 260, p. 221-235. 1989.
- BRUGGINK, G. T.; HEUVELINK, E. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: Effects on relative growth rate, net assimilation rate and leaf area ratio. **Scientia Horticulturae**, v.31, n.3-4, p. 161-174, 1987.
- BRUGGINK, G.T. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: Calculating the effect of differences in light integral. **Scientia Horticulturae**, v.31, n.3-4, p. 175-183, 1987.
- CASEIRO, F. T. et al. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura de milho (*Zea mays*, L.) no período seco, em Santo Antônio do Leverger – MT. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, v. 5, n.2, p.177-182, 1997.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar - Safra 2018/19. v.5, n. 2, 2018, 86p.
- COSTA, C. T. S. et al. Crescimento de quatro variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) no quarto ciclo de cultivo, no município de Rio Largo-AL. **STAB**, p.610-615, 2008.
- COSTA, L. G. et al. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 5, p.469–474, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

FERREIRA JÚNIOR R. A. et al. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1229-1236, 2012.

FERREIRA JUNIOR, A.F.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I; LYRA, G. B.; SOUZA, R. C.; ARAÚJO NETO, R. A. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.322-328, 2014.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; ESCOBEDO, J. F.; SANTOS, M. L. V. C. Energy conversion efficiency in sugarcane under two row spacings in northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 741-747, 2015.

FOLEGATTI, M. A. et al. Efeitos de cobertura plástica sobre elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n.2, p.155-163, 1997.

HATFIELD, J. Radiation use efficiency: evaluation of cropping and management systems. **Agronomy Journal**, v.106, n.5. p.1820-1827, 2014

HEERDEN, P. D. R. VAN; DONALDSON, R. A.; WATT, D. A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, v.61, p.877-887, 2010.

HEUVELINK, E.; CHALLA, H. Dynamic optimization lighting in greenhouse. **Acta Horticulturae**, n.260, p. 401-412, 1989.

HEUVELINK, E.; MARCELIS, L.F.M. Dry matter distribution in tomato and cucumber. *Acta Horticulturae*, n.260, p.149-147, 1989.

Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). Cartas climáticas do Paraná. 2017.

IDO, O. T. Desenvolvimento radical e caulinar, de três variedades de cana-de-açúcar, em Rizotron, em dois substratos. 2000. 155f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LIU, D. L.; BULL, T. A. Simulation Of Biomass And Sugar Accumulation In Sugarcane Using A process-based model. **Ecological Modelling**, v.144, p.181-211, 2001.

MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Leaf area, light interception, and crop development in maize. **Field Crops Research**, v.48, p.81-87, 1996.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. Fisiologia Vegetal. 2. ed. São Paulo: Editoras EPU; EDUSP, 1985. v. 1, p. 331-350.

MARAFON, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. 29p.

MARIN, F. R.; JONES, J. W. Process-based simple model for simulating sugarcane growth and production. **Scientia Agricola**, v.71, p.1-16, 2014.

MARIN, F. R.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R. How can crop modeling and plant physiology help to understand the plant responses to climate change? A case study with sugarcane. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.26(1), p.49-63, 2014.

MARIN, F. R.; THORBURN, P. J.; NASSIF, D. S. P.; COSTA, L. G. Sugarcane model intercomparison: Structural differences and uncertainties under current and potential future climates. **Environmental Modelling & Software**, v.72, p.372-386, 2015.

MARIN, F.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. A Stochastic Method for Crop Models: Including Uncertainty in a Sugarcane Model. **Agronomy Journal Abstract - Biometry, Modeling & Statistics**, v.109(2), p.483-495, 2017.

MUCHOW, R. C.; EVENSEN, C. I.; OSGOOD, R. V.; ROBERTSON, M. J. Yield accumulation in irrigated sugarcane. II. Utilization of intercepted radiation. **Agronomy Journal**, v.89, p.646-652, 1997.

OLIVEIRA, R. A et al. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agraria**, v.5, n. 1-2, p.87-94, 2004.

REGENT INSTRUMENTS CANADA INC. WinFolia 2014 For Leaf Analysis. 2014, 88p.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia: I. radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, p.11-25, 1996.

Sandaña, P.; Ramírez M; Pinochet, D. Radiation interception and radiation use efficiency of wheat and pea under different P availabilities. **Field Crops Research**, v.127, p.44-50, 2012.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v.31, p.159-168, 2001.

SILVA, A. L. C.; COSTA, W. A. J. M. Growth and radiation use efficiency of sugarcane under irrigated and rain-fed conditions in Sri Lanka. **Sugar Tech**, v.14, p.247-254, 2012.

SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy**, v.65, p.215-265, 1999.

SINGELS, A. et al. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. *Field Crops Research*, v.92, n. 2-3,

p.249–260, 2005.

SOUZA, J. M. H.; CUADRA, S. V.; PINTO, L. B.; CASTRO, J. R.; ARAÚJO, R. M.; ALMEIDA, I. R.; SILVA, S. D. A. Análise de Sensibilidade dos Coeficientes Genéticos do Modelo Canegro/DSSAT. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.40(2), p.47-52, 2017.

TEIXEIRA, A. H. de C.; LIMA FILHO, J. M. P. Relações entre o índice de área foliar e radiação solar na cultura de videira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 2, p. 143-146, 1997.

TERUEL, D. A. Modelagem do índice de área foliar da cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos. 1995, 93f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 1995.

WANG, Z.; ZHAO, X.; WU, P.; HE, J.; CHEN, X.; GAO, Y.; CAO, X. Radiation interception and utilization by wheat/maize strip intercropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.204, p.58-66, 2015.

YANG, X. et al. Plant architectural parameters of a greenhouse Cucumber row crop. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 51, n. 2, p. 93-105, 1990.

## 5 CAPÍTULO III

### CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS, ÉPOCAS DE PLANTIO E CORTE NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

#### RESUMO

Para obtenção de altos rendimentos, o ciclo da cultura de cana-de-açúcar deve ser ajustado aos períodos em que as necessidades de luz e água sejam supridas. Desta forma, sincronizar as melhores condições meteorológicas de uma determinada região com a fase de crescimento vegetativo pleno da cultura pode maximizar a produtividade. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das condições meteorológicas, associada com três épocas de plantio e colheita e qual o efeito na produtividade de variedades de cana-de-açúcar em ciclo de cana planta. Testou-se a hipótese de que há interação entre as épocas de plantio e colheita, em ciclo de cana planta. O experimento ocorreu na Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar, da Universidade Federal do Paraná, integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético, no Estado do Paraná. Foram avaliadas as variedades RB036066, RB867515, RB966928 de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) utilizando-se o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram três épocas de plantio (outono, inverno e primavera), as subparcelas foram épocas de corte (abril, julho e outubro). Foram mensuradas as componentes de rendimento: Número de colmos por metro quadrado (NCM), massa média do colmo (MMC), toneladas de colmos por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR) e toneladas de açúcar por hectare (TAH). Concluiu-se que a soma térmica e condições de radiação solar global do plantio de primavera foram mais adequadas para brotação e perfilhamento, o que proporcionaram maior número de colmos por metro quadrado nas variedades RB036066 e RB867515. Estas variedades apresentaram maior plasticidade, assim, quanto maior o número de graus-dias e radiação solar acumulada durante o ciclo, mais elevado foi a massa média do colmo. Plantios na primavera atrasaram a maturação na colheita de abril. Nas épocas de colheita, os melhores rendimentos de TAH da variedade RB966928 foi do plantio de outono. Os mais elevados rendimentos de TAH ocorreram na colheita de outubro.

Palavras-chave: Graus-dias. Radiação solar global. ATR. TCH. ATR.

## METEOROLOGICAL CONDITIONS, PLANTING AND HARVESTING SEASON IN CANE PLANT CYCLE PRODUCTIVITY

### ABSTRACT

In order to obtain high yields, the sugar cane crop cycle must be adjusted to the periods when light and water needs are supplied. In this way, synchronizing the best meteorological conditions of a given region with the full vegetative growth stage of the crop can maximize productivity. The objective of this work was to evaluate the influence of the meteorological conditions on the productivity of three planting seasons and the harvesting of sugarcane varieties. It was tested the hypothesis that there is interaction between the times of planting and harvest, in the cane plant cycle. The experiment was carried out at the Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar of the Universidade Federal Paraná, part of the Interuniversity Network for the Development of the Sugarcane Sector, in State of Paraná. The varieties RB036066, RB867515, RB966928 of sugarcane (*Saccharum* spp.) Were evaluated using a randomized block design with four replications. The treatments were three planting seasons (Autumn, Winter and Spring), the subplots were cutting seasons (April, July and October). Yield components were measured: Number of stalks per square meter (NSM), average stalk mass (ASM), tons of sugarcane stalks (TSS), total recoverable sugar (TRS) and tons of sugar per hectare (TSH). It was concluded that the thermal sum and global solar radiation conditions of Spring planting were more suitable for sprouting and tillering, which provided higher stems per square meter in the varieties RB036066 and RB867515. These varieties presented higher plasticity, thus, the higher the number of degree-days and solar radiation accumulated during the cycle, the higher the average stem mass. At harvest times, the best yields of TSH of the variety RB966928 were from Autumn planting. The highest yields of TSH occurred in the October harvest.

Keywords: Degrees-days. Global solar radiation. TSS. TSH. TRS.

## 5.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar possui ampla diversidade genética e é altamente influenciada pelo ambiente de produção na qual é cultivada (MARAFON, 2012). A resposta da cultura e a produtividade está estritamente relacionada às condições meteorológicas vigentes em cada fase fenológica (MANHÃES et al., 2015).

A radiação solar possui importância nas fases de perfilhamento, crescimento vegetativo pleno e maturação (ORTOLAN, CAMARGO, 1987). Intensa radiação solar favorece o perfilhamento da cultura. É uma planta do tipo C4, que apresenta eficiência elevada na conversão de radiação solar em energia química quando submetida a intensa radiação solar, caso esteja associada a condições de disponibilidade hídrica e temperaturas elevadas (MONTEIRO, 2012). Estudos realizados na Austrália por Robertson et al. (1996) relatam que a eficiência da radiação solar é de 1,72 g MJ m<sup>-2</sup>. Valores encontrados no Brasil foram de 1,96 g MJ m<sup>-2</sup> e o máximo descrito na literatura foi de 2,00 g MJ m<sup>-2</sup> (MUCHOW et al., 1997; FERREIRA et al., 2015). Em relação a radiação incidente no topo do dossel, valores diários na faixa de 18 a 36 MJ m<sup>-2</sup> é considerada propícia para a fase de crescimento vegetativo pleno, onde tem-se as maiores taxas de acúmulo de massa (MONTEIRO, 2012).

A cultura suporta déficit hídrico em qualquer fase fenológica, mas o reflexo na produtividade final será dependente da intensidade, da duração do déficit e da fase fenológica de ocorrência, em consonância com outros fatores que definem a produtividade (DOORENBOS; PRUITT, 1975; THOMPSON, 1976). Estresse hídrico provoca o fechamento dos estômatos, que por sua vez diminui a taxa fotossintética, afetando o crescimento e o rendimento final da cana-de-açúcar (PEREIRA et al., 2002). Complementarmente, déficit hídrico causa redução no alongamento dos colmos, ocasionando a formação de internódios curtos (DOORENBOS, KASSAN, 1994, DELGADO ROJAS, 1998). Contudo, para dar início ao acúmulo de sacarose, i.e., fase de maturação, além de redução de temperatura, o déficit hídrico é capaz de favorecer esta fase fenológica (RUDORF; BATISTA, 1988; JOAQUIM, 1998, ARALDI et al, 2010). A restrição hídrica na maturação força o repouso fisiológico e o acúmulo de sacarose (INMAN-BAMBER, SMITH, 2005).

Por este fato, caso ocorra precipitação considerável durante a fase de maturação, o acúmulo de sacarose pode ser prejudicado (INMAN-BAMBER, 2004).

Adicionalmente, na época de colheita, elevada umidade no solo associado ao tráfego de máquinas pesadas, causam a compactação do solo, prejudicando os rendimentos da safra seguinte (MARIN et al., 2009).

Para obtenção de altos rendimentos, o ciclo da cultura deve ser ajustado aos períodos em que as necessidades de luz e água sejam supridas (AUDE et al., 1992). Elevados rendimentos estão associados a altas temperaturas médias, precipitação elevadas e uniformes na fase de crescimento vegetativo pleno.

Desta forma, manejar a cultura de forma que sincronize as condições meteorológicas de uma determinada região com as exigências meteorológicas de cada fase fenológica da cultura pode maximizar a produtividade. Por este fato, determinar épocas de plantios é importante para o setor sucroenergético, o que torna imprescindível pesquisas que relacionam as condições edafoclimáticas com o ciclo da cana-de-açúcar (ALMEIDA, 2008; ARAÚJO et al., 2017).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das condições meteorológicas sobre diferentes épocas de plantio e colheita no rendimento de três variedades de cana-de-açúcar em ciclo de cana planta.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Paranavaí, pertencente ao Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, localizada no município de Paranavaí, noroeste do Estado do Paraná (23°05'S, 52°26'O, 470 m). Conforme classificação de Köppen, o local apresenta clima do tipo Cfa. As médias anuais climatológicas (1975-2017) de precipitação, temperatura média do ar e umidade são, respectivamente, 1527,00 mm, 22,2 °C e 69,0% (IAPAR, 2018).

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, com relevo suave ondulado, com média de 81,43% de areia, 4,76% de silte e 13,82% de argila. Antes da implantação da cultura, foi realizada correção do pH do solo, com calagem e incorporação de 1800 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT=78%). No plantio, foram aplicados 800 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-20-20 (80 kg de N, 160 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 160 de K<sub>2</sub>O) no sulco.

Foram plantadas três variedades em três épocas de plantio, cada época representando a respectiva estação do ano, i.e., plantio de outono, inverno e primavera (TABELA 5). Utilizou-se as variedades RB036066, de ciclo de maturação médio, a RB867515, de ciclo médio-tardio e a RB966928, de ciclo precoce, sendo a segunda e a terceira com maior área de cultivo no Brasil.

TABELA 5 – Épocas de plantio, datas, estação do ano de plantio e dias após o plantio (DAP) das colheitas, das variedades de cana-de-açúcar RB036066, RB867515 e RB966928, no município de Paranavaí, região noroeste do Estado do Paraná, no ano de 2016.

Plantio	Data	Estação do ano	Dias após o plantio na colheita		
			abril	julho	outubro
OUT	20 de abril de 2016	Outono	360	451	543
INV	25 de julho de 2016	Inverno	264	356	447
PRI	13 de outubro de 2016	Primavera	184	276	367

Adotou-se o sistema convencional de plantio (manual), com toletes de três gemas distribuídos dentro dos sulcos, totalizando 18 gemas por metro. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso com 4 repetições, com três épocas de colheita: abril, julho e outubro. Para cada variedade avaliada e época de plantio, a parcela experimental foi formada com seis linhas de 8 m de comprimento e espaçamento simples de 1,5 m entrelinhas, compreendendo 187,5 m<sup>2</sup>.

Avaliou-se o efeito da época de plantio e época de corte em cada uma das

variedades e a relação com as condições meteorológicas durante os ciclos.

Mensurou-se os componentes de rendimento: número de colmos por metro quadrado (NCM); massa média do colmo (MMC - kg); toneladas de colmo por hectare (TCH - t ha<sup>-1</sup>), dado pelo NCM multiplicado pelo MMC \* 10000; açúcar total recuperável (ATR - kg t cana<sup>-1</sup>); toneladas de açúcar por hectare (TAH - t ha<sup>-1</sup>), resultado da multiplicação de TCH por ATR. Foram utilizadas as linhas úteis do experimento, sendo considerados um metro inicial e linhas exteriores como bordadura. Delimitou-se um metro da linha útil de cultivo para levantamento do rendimento em toneladas de colmos por hectare (TCH).

Para análise tecnológica e estimativa de rendimento industrial, retirou-se dez colmos seguidos por sulco e levadas a laboratório especializado, onde foi utilizado o protocolo do Consecana (2002):

Com os valores de pol cana (PC) e açúcares redutores da cana (ARC), calculou-se o ATR:

$$\text{ATR} = 10 \cdot \text{PC} \cdot 1,0526 \cdot 0,88 + 10 \text{ ARC} \cdot 0,88 \quad (5)$$

onde:

0,88: coeficiente de recuperação para uma perda industrial de 12%;

10 · ARC: açúcares redutores por tonelada de cana;

1,0526: coeficiente estequiométrico para conversão de pol em açúcares redutores;

10 · PC: pol por tonelada de cana.

Procedeu-se a análise de variância pelo teste F e quando significativo, as diferenças entre as médias dos tratamentos foram avaliadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os dados meteorológicos de temperatura máxima absoluta, temperatura média, temperatura mínima absoluta, precipitação, umidade e radiação solar global foram obtidos a partir de estação meteorológica automática, modelo Davis Vantage PRO2, instalada no interior da área experimental. O balanço hídrico do período de estudo foi elaborado segundo metodologia de Thornthwaite & Mather (1955). A CAD utilizada para o solo em questão foi de 30 mm, baseado no trabalho de Gerstemberger (2012).

O cálculo dos graus-dias (GD, °C dia<sup>-1</sup>), foi realizado a partir da equação:

$$\text{GD (}^\circ\text{C dia}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{T}_{\text{max}} - \text{T}_{\text{min}})}{2} - \text{T}_b \quad (1)$$

em que T<sub>max</sub> e T<sub>min</sub> correspondem a temperaturas máxima e mínima,

respectivamente,  $T_b$  é a temperatura base, na qual utilizou-se o valor de 16 °C (Singels et al., 2005). A soma térmica ou tempo termal (GD acumulado) foi estimado com o acúmulo de GD ao longo do ciclo.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Condições meteorológicas e épocas de plantio

Os dados meteorológicos são apresentados nas figuras 15 e 16. Nota-se uma diferença considerável nos primeiros meses de cultivo de cada época, durante as fases fenológicas de brotação, estabelecimento e perfilhamento. Nos primeiros 120 dias de cultivo do plantio de outono, a temperatura média foi de 18,7°C. Para o mesmo número de DAP de cultivo, os plantios de inverno e primavera registraram temperaturas médias de 21,7 e 24,9°C, respectivamente.

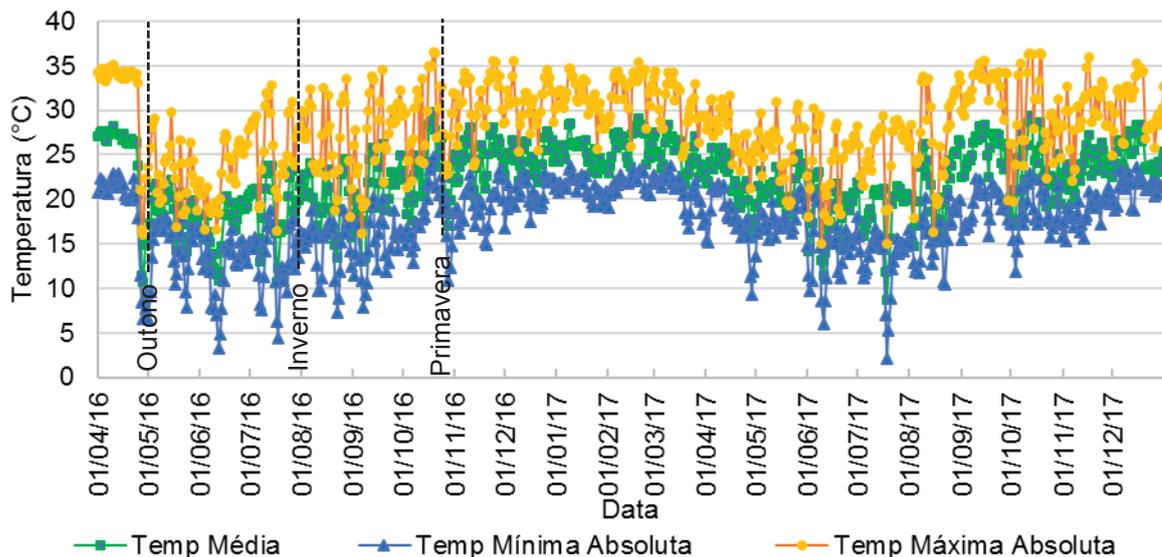


FIGURA 15 - Temperaturas médias diárias (°C), temperaturas mínimas e máximas absolutas diárias (°C) para o período entre abril/2016 e dezembro/2017.

Estudos de Jadoski et al. (2010) afirmam que para garantir uma população de plantas adequada, são necessários durante as fases de brotação, estabelecimento e perfilhamento da cultura de cana-de-açúcar, temperaturas médias diárias elevadas, acima de 21°C. Ainda, segundo Inman-Bamber (2010), para alongação dos entrenós são necessárias temperaturas compreendidas entre 25 a 31°C. As temperaturas apresentadas no ciclo do plantio de outono podem ter prejudicado a população de plantas da cultura.

Na região Centro-Sul do Brasil, o período compreendido entre outubro a março é considerado os meses nos quais a cultura de cana de açúcar encontra as melhores condições meteorológicas para o crescimento vegetativo pleno e,

consequentemente, aumento de TCH. Nota-se que, as temperaturas mais elevadas dos ciclos avaliados neste estudo estão compreendidas entre os meses de outubro de 2016 a maio de 2017, onde a média de temperatura foi de 24,0°C neste período.

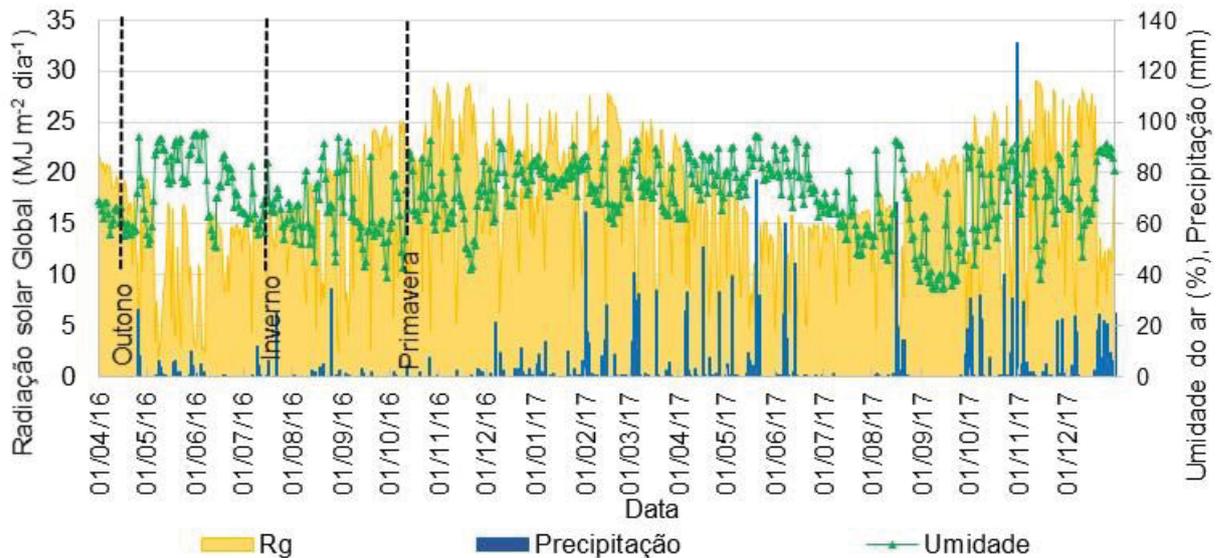


FIGURA 16 - Radiação solar global Rg ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), precipitação (mm) e umidade do ar (%) diárias para o período entre abril/2016 e dezembro/2017.

A radiação solar global (Rg) apresentou condições semelhantes à temperatura. Considera-se radiação solar global adequada para o crescimento e desenvolvimento da cultura valores acima de  $18 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  (MARAFON, 2012; MONTEIRO, 2012). Os primeiros 120 dias de cultivo no plantio de outono, a média de Rg foi de  $12,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ , no plantio de inverno e primavera apresentaram, respectivamente,  $18,6$  e  $20,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  para o mesmo período. Adicionalmente, a Rg média entre outubro a início de maio foi de  $19,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ . A diminuição da temperatura e da radiação solar global a partir de maio de 2017 favoreceu a maturação da cultura.

A diferença entre as épocas de plantio torna-se mais evidente ao analisar os graus-dias acumulados (FIGURA 17). Aos 200 DAP, o plantio de primavera já havia acumulado  $1862,7^\circ\text{C dias}$ , enquanto o plantio de inverno somou  $1566,5^\circ\text{C dias}$ . Destaca-se a baixa soma térmica do plantio de outono em relação as outras duas épocas, onde aos 200 DAP havia acumulado apenas  $932,6^\circ\text{C dias}$ , isto é, metade do acumulado no plantio de primavera.

O balanço hídrico de 2016 e 2017 estão representados nas figuras 18 e 19. Observa-se que o plantio de outono foi o único dentre as três épocas de plantio com

água disponível nos primeiros dias de ciclo.

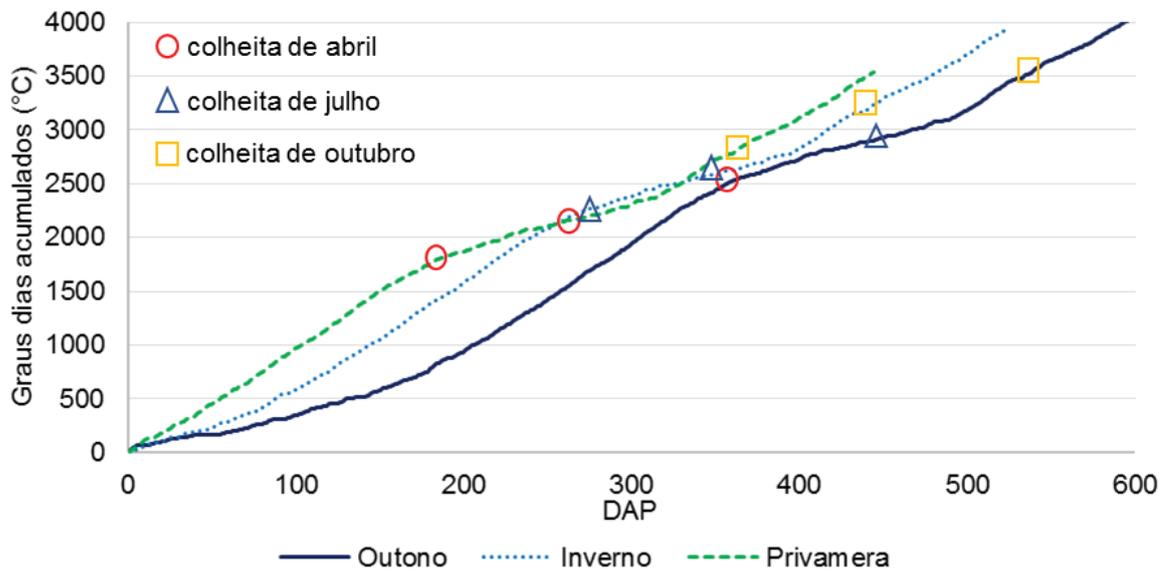


FIGURA 17 - Graus dias acumulados (°C) em função dos dias após o plantio (DAP) para cada época de plantio avaliada.

No ano de 2016 foi mensurado déficit hídrico a partir de junho, com maior intensidade no mês de novembro. Em dezembro de 2016 as chuvas voltaram a influenciar positivamente o balanço hídrico até fim de julho de 2017 (FIGURAS 16 e 19). Entre o fim de junho e fim de setembro de 2017, novamente o déficit hídrico foi predominante.

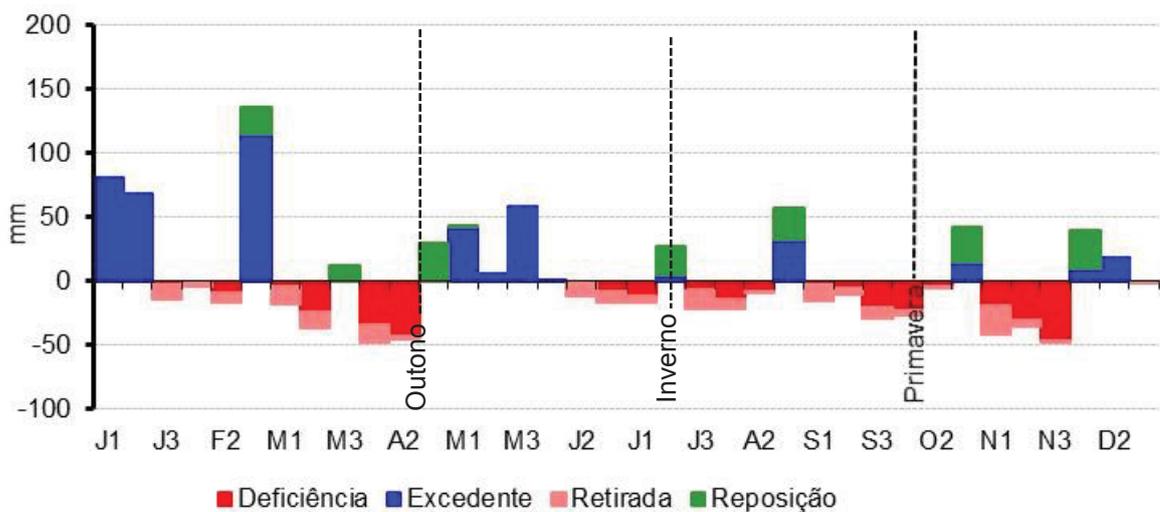


FIGURA 18 - Balanço hídrico decenal do ano 2016 na área experimental e as respectivas épocas de plantio – outono, inverno e primavera.

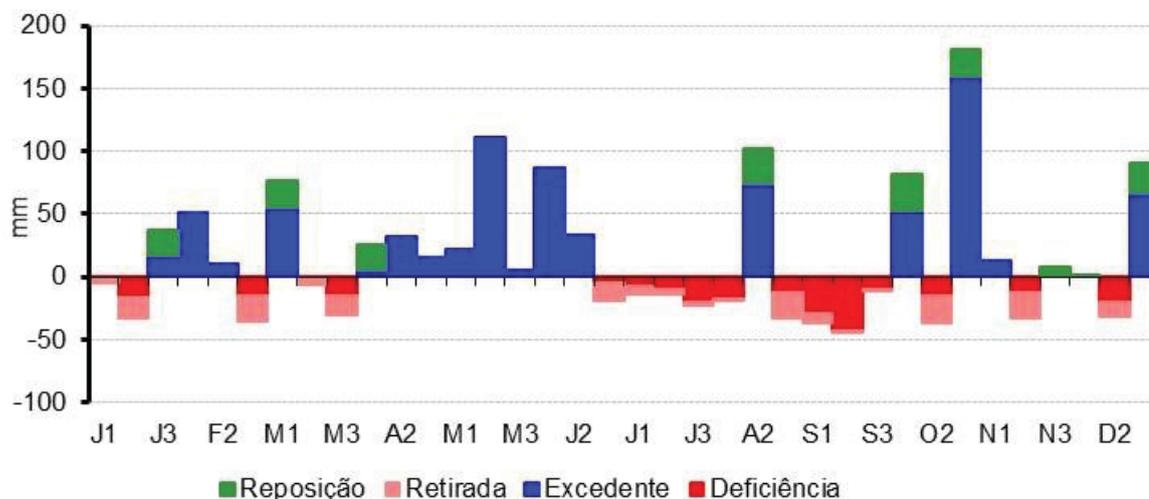


FIGURA 19 - Balanço hídrico decendial do ano 2017 na área experimental.

### 5.3.2 Componentes de rendimento, épocas de plantio e colheita e as condições meteorológicas

De acordo com os resultados da análise de variância, para as variáveis NCM, MMC, TCH, TAH e ATR, das variedades RB036066, RB867515 e RB966928, cultivadas em ciclo de cana planta, com três épocas de plantio no ano de 2016 (outono, inverno e primavera), e três épocas de colheita no ano seguinte (abril, julho e outubro), verificou-se efeito significativo para interação dos efeitos de variedade com época de plantio (Tabela 6). A época de colheita apresentou significância apenas para os efeitos principais nas variáveis MMC, TCH e TAH, enquanto para NCM não houve efeito deste fator. A variável ATR teve efeito significativo para interação dos três fatores em estudo (variedade, época de plantio e colheita). O coeficiente de variação manteve-se entre 12,37 e 3,60, para as variáveis TCH e ATR nesta ordem, indicando boa precisão experimental.

Nos plantios ocorridos no outono e inverno, a variedade RB966928 foi a que resultou em maior número de colmos por metro quadrado. No plantio de primavera, as três variedades resultaram estatisticamente em mesma quantidade de colmos industrializáveis (Tabela 7).

TABELA 6 – Resumo da análise de variância para número de colmos por metro quadrado (NCM), massa média do colmo (MMC - kg), toneladas de colmo por hectare (TCH - t ha<sup>-1</sup>), toneladas de açúcar por hectare (TAH - t ha<sup>-1</sup>) e açúcar total recuperável (ATR - kg t cana<sup>-1</sup>) para três variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes épocas de plantio e colheita.

FV <sup>1</sup>	Quadrado médio					
	GL <sup>2</sup>	NCM	MMC	TCH	TAH	ATR
Bloco	4	3.67	0.05	97.28	1.75	16.39
Variedade (V)	2	47.35 **	2.23 **	2325.98 **	137.82 **	778.17 **
Época de plantio (EP)	2	43.73 **	1.91 **	309.75 ns	10.01 ns	527.78 **
Época de colheita (EC)	2	0.03 ns	0.26 **	1289.49 **	627.98 **	10017.72 **
V x EP	4	13.85 **	0.19 **	2579.87 **	76.80 **	123.11 **
V x EC	4	0.44 ns	0.09 ns	372.26 ns	22.65 ns	325.75 **
EP x EC	4	0.32 ns	0.03 ns	180.92 ns	6.95 ns	55.16 ns
V x EP x EC	8	0.27 ns	0.09 ns	358.17 ns	3.20 ns	119.19 **
Resíduo	104	0.60	0.03	247.98	4.48	24.39
Total	134	-	-	-	-	-
Média	-	7.78	1.69	127.32	17.61	137.30
CV (%) <sup>3</sup>	-	9.99	10.83	12.37	12.03	3.60

<sup>1</sup>FV: Fonte de variação; <sup>2</sup>GL: Graus de liberdade; <sup>3</sup>CV: Coeficiente de variação; \*\* Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F; ns: Não significativo

A variedade RB966928 tem como característica alto perfilhamento e elevado número de colmos industrializáveis quando comparada as outras duas variedades avaliadas (RIDESA, 2010). Esta característica possibilitou a variedade perfilhar mais que as demais, nos meses de outono e inverno, onde as condições de temperatura e radiação solar nos primeiros 120 dias foram menos propícias que as condições do plantio ocorrido na primavera (Figuras 15 e 16).

Nota-se que nos plantios de outono e inverno, a quantidade de colmos por metro quadrado das variedades RB036066 e RB966928 foram estatisticamente inferiores aos obtidos quando o plantio ocorreu na primavera (Tabela 7). A brotação e perfilhamento destas duas variedades ocorre de maneira mais lenta, e é dependente das condições de temperatura e radiação solar (JADOSKI, 2010).

A cultura de cana-de-açúcar tem brotação até aproximadamente 30-40 dias, e em seguida, tem-se a fase de perfilhamento da planta (DIOLA, SANTOS, 2010; MAFAFON, 2012). A radiação solar se torna importante para a realização de fotossíntese pelas folhas e crescimento da planta. Jadoski et al. (2010) afirma que a luz é o mais importante fator no perfilhamento, pois a iluminação adequada na base da planta durante este período ativa as gemas vegetativas basais.

TABELA 7 – Valores médios de número de colmos por metro quadrado (NCM), massa média do colmo (MMC - kg), toneladas de colmo por hectare (TCH - t ha<sup>-1</sup>), toneladas de açúcar por hectare (TAH - t ha<sup>-1</sup>) e açúcar total recuperável (ATR - kg t cana<sup>-1</sup>) para três variedades de cana-de-açúcar avaliadas na terceira época de colheita de acordo com diferentes épocas de plantio.

Variedade	Época de plantio			Média
	Outono	Inverno	Primavera	
<b>Número de colmos por m<sup>2</sup> (NCM)</b>				
<b>RB036066</b>	5.9 b* B	7.2 b B	8.9 a A	7.3
<b>RB867515</b>	5.4 b B	6.4 b B	8.6 a A	6.8
<b>RB966928</b>	9.3 a A	9.2 a A	8.8 a A	9.1
Média	6.9	7.6	8.7	7.8
<b>Massa média do colmo (MMC)</b>				
<b>RB036066</b>	2.0 b A	1.6 b B	1.5 a B	1.7
<b>RB867515</b>	2.3 a A	2.0 a B	1.6 a C	2.0
<b>RB966928</b>	1.6 c A	1.5 b A	1.5 a A	1.5
Média	2.0	1.7	1.6	1.8
<b>Toneladas de colmo por ha (TCH)</b>				
<b>RB036066</b>	118.7 b A	118.7 b A	137.6 a A	125.0
<b>RB867515</b>	126.7 b A	128.1 ab A	140.3 a A	131.7
<b>RB966928</b>	147.1 a A	141.7 a A	132.0 a A	140.3
Média	130.9	129.5	136.6	132.3
<b>Toneladas de açúcar por ha (TAH)</b>				
<b>RB036066</b>	18.7 b A	18.8 a A	21.3 a A	19.6
<b>RB867515</b>	18.4 b B	20.9 a AB	22.1 a A	20.5
<b>RB966928</b>	25.6 a A	21.8 a A	19.6 a B	22.3
Média	20.9	20.5	21.0	20.8

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

Intensa radiação solar favorece o perfilhamento da cultura. À medida que aumenta a área foliar do dossel durante o perfilhamento, aumenta-se a quantidade de radiação solar fotossintética absorvida, aumentando-se a competição intraespecífica por luz. No momento em que o dossel é capaz de cobrir totalmente o solo, têm-se um reajuste na quantidade de perfilhos, senescendo uma parte dos mesmos, devido a insuficiência de luz (CARVALHO, 2009). A tendência é estabilizar a quantidade de perfilhos sobreviventes, que se tornarão mais adiante os colmos industrializáveis.

Nos plantios de outono e inverno, quando iniciou-se a fase de perfilhamento, as condições de radiação solar não foram propícias quando comparada as condições do plantio de primavera, isto é, valores diários médios de Rg inferiores à

18 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e temperatura média abaixo de 21°C (MARAFON, 2012). A média de Rg entre 30 e 120 DAP no plantio ocorrido no outono foi de 12,89 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, com temperatura média no período de 18,44°C. O plantio de inverno, e mesmo período de DAP, os valores médios foram de 19,44 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 22,3°C. No plantio de primavera por sua vez, as condições ambientais foram mais propícias, com valores de 20,12 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 25,0°C, i.e., Rg e temperatura média 35,6 e 26,4% mais elevados que o plantio de outono, respectivamente.

Uma vez que o perfilhamento e número de colmos da cultura de cana-de-açúcar é dependente da radiação solar e das condições térmicas (CARVALHO, 2009; JADOSKI et al., 2010; ARAÚJO et al., 2017), pode-se afirmar que o plantio de primavera teve condições de soma térmica e Rg mais propícias, o que proporcionou maior número de colmos por metro quadrado industrializáveis.

A variedade RB966928 tem como características colmos mais finos e de massa menor em relação as variedades RB036066 e RB867515. Devido ao crescimento e desenvolvimento desta variedade, a massa média do colmo não foi significamente diferente dentro das épocas de plantio (Tabela 7). A variedade de ciclo médio, RB036066, resultou em massa média de colmo superior quando o plantio ocorreu no outono, e estatisticamente similares nas épocas de plantio de inverno e primavera. Este fato mostra que está variedade, necessitou de mais DAP para atingir valor mais elevado de MMC e por isso, as maiores MMC foram obtidas com plantio ocorrido no outono. Resultado análogo ocorreu com a variedade RB867515, onde pode-se notar que quanto mais DAP teve o ciclo e mais graus-dias e radiação solar acumulados, maior foi valor de MMC. Por isto, os melhores rendimentos de MMC desta variedade foram para o plantio de outono.

Estes resultados podem estar relacionados aos ciclos de maturação de cada variedade. A RB966928 tem ciclo precoce, isto indica que a variedade atinge a maturação mais rápido que as outras variedades, ou seja, se o ambiente fornecer as condições necessárias para a fase de maturação (queda de temperatura e/ou estresse hídrico) e a planta estiver na fase de crescimento vegetativo pleno, a planta dará início a maturação, acumulando sacarose e cessando o crescimento vegetativo pleno. As variedades de ciclo médio e médio tardio foram capazes de manter o crescimento vegetativo pleno por mais tempo, e isto explica o fato de que quanto mais graus-dias acumulados e radiação solar acumulada no dossel, mais elevado foi a massa média do colmo.

Apesar das diferenças nas MMC, as épocas de plantio não apresentaram efeito significativo no TCH. Enquanto o NCM foi crescente na sequência de plantio outono, inverno e primavera, a MMC foi decrescente na mesma sequência.

Na Figura 16 pode-se observar que após o plantio de outono ocorreu queda na temperatura. A temperatura média de janeiro a abril foi de 24,6°C, e entre os meses de maio e junho a temperatura média caiu para 19,9°C. Plantio de outono é considerado uma época com condições menos propícias em relação a outras épocas do ano, devido as condições meteorológicas caracterizada por declínio da temperatura (AUDE et al., 1992; MARCHIORI, 2004).

No plantio de inverno, as condições de temperatura foram superiores em relação ao plantio de outono, média de 22,6°C entre a data de plantio (25 de julho) ao fim do inverno (21 de setembro) (FIGURA 15). No entanto, observa-se predominância de déficit hídrico desde o plantio até o fim de novembro. Dos 15 primeiros decêndios de cultivo desta época de plantio, 11 apresentaram déficit hídrico prejudicando o crescimento inicial da cultura. No plantio de primavera, no período de 15 decêndios de ciclo, apenas 5 apresentaram déficit hídrico. (FIGURAS 15 e 18). Estas condições refletiram nos valores médios de NCM das variedades RB036066 e RB867515.

Contudo, a variedade RB966928 foi capaz de resultar em elevado número de colmos por metro quadrado em todas as épocas de plantio. Apesar das condições propícias de temperatura e radiação para o ciclo do plantio de primavera, nota-se que nos primeiros quatro decêndios, período que compreende a brotação, três apresentaram elevado déficit hídrico. Por esta variedade ser mais sensível a falta de água, o seu crescimento inicial foi prejudicado.

De 21 decêndios compreendidos entre a primeira e a última colheita, de abril a outubro, 10 apresentaram déficit hídrico (FIGURA 19). O déficit hídrico é importante para a cultura da cana-de-açúcar no momento da maturação, pois com o estresse hídrico a planta acumula sacarose, elevando os valores de ATR (ARALDI et al., 2010). No entanto, déficit hídrico é prejudicial para o crescimento vegetativo pleno.

Adicionalmente, a soma térmica neste período foi de 1600°C dias, com média diária de 5,8°C. Observa-se na Figura 17 que entre a colheita de abril à colheita de outubro, tem-se uma diminuição na velocidade de acúmulo de graus-dias. Estes resultados térmicos neste período influenciou o crescimento vegetativo

pleno, diminuindo a velocidade ou até mesmo inibindo o crescimento vegetativo.

Estes fatos associados explicam porque não ocorreu elevação de TCH entre abril a julho suficiente para que fosse estatisticamente significativo e ocorresse interação entre as épocas de plantio com as épocas de colheita nos valores de TCH (Tabelas 6 e 7).

Os valores médios da massa de colmo para as três épocas de colheita e variedades da Tabela 8 mostram que o rendimento de MMC da colheita de outubro foi estatisticamente superior ao plantio de outono.

Ao avaliar TCH nota-se que na média das variedades, não houve diferença estatisticamente significativa. O TCH médio dos plantios associado ao ATR, mostra que na média, os melhores rendimentos de TAH são obtidos na colheita de outubro, seguido da colheita de junho e por fim, colheita de abril. Assim, as condições de temperatura, radiação solar e déficits hídricos entre as épocas de colheita foram favoráveis ao acúmulo de sacarose e elevação de TAH e desfavoráveis à elevação de TCH.

TABELA 8 – Valores médios de massa média do colmo (MMC - kg), toneladas de colmo por hectare (TCH - t ha<sup>-1</sup>) e toneladas de açúcar por hectare (TAH - t ha<sup>-1</sup>) avaliadas em três épocas de colheita.

Época de colheita	MMC	TCH	TAH
<b>Abril</b>	1.60 b	121.7 a	13.5 c
<b>Julho</b>	1.70 ab	127.9 a	18.5 b
<b>Outubro</b>	1.75 a	132.3 a	20.8 a
<b>Média</b>	1.69	127.3	17.6

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

A componente de rendimento ATR apresentou diferença significativa entre as variedades, épocas de plantio e de colheita (Figuras 20).

Observa-se que na variedade RB036066, os plantios ocorridos no inverno e primavera possuem valores similares de ATR ao longo do ciclo (Figura 20A). Na variedade RB867515, para as épocas de colheita de abril e julho, quanto maior número de dias de ciclo, maior o número de graus-dias acumulados e, mais elevado é o valor de ATR (Figura 20C). Este padrão segue na colheita de outubro para os plantios de inverno e primavera. Já o plantio ocorrido em outono resultou no menor ATR na última época de colheita, devido a diminuição na inclinação do ATR.

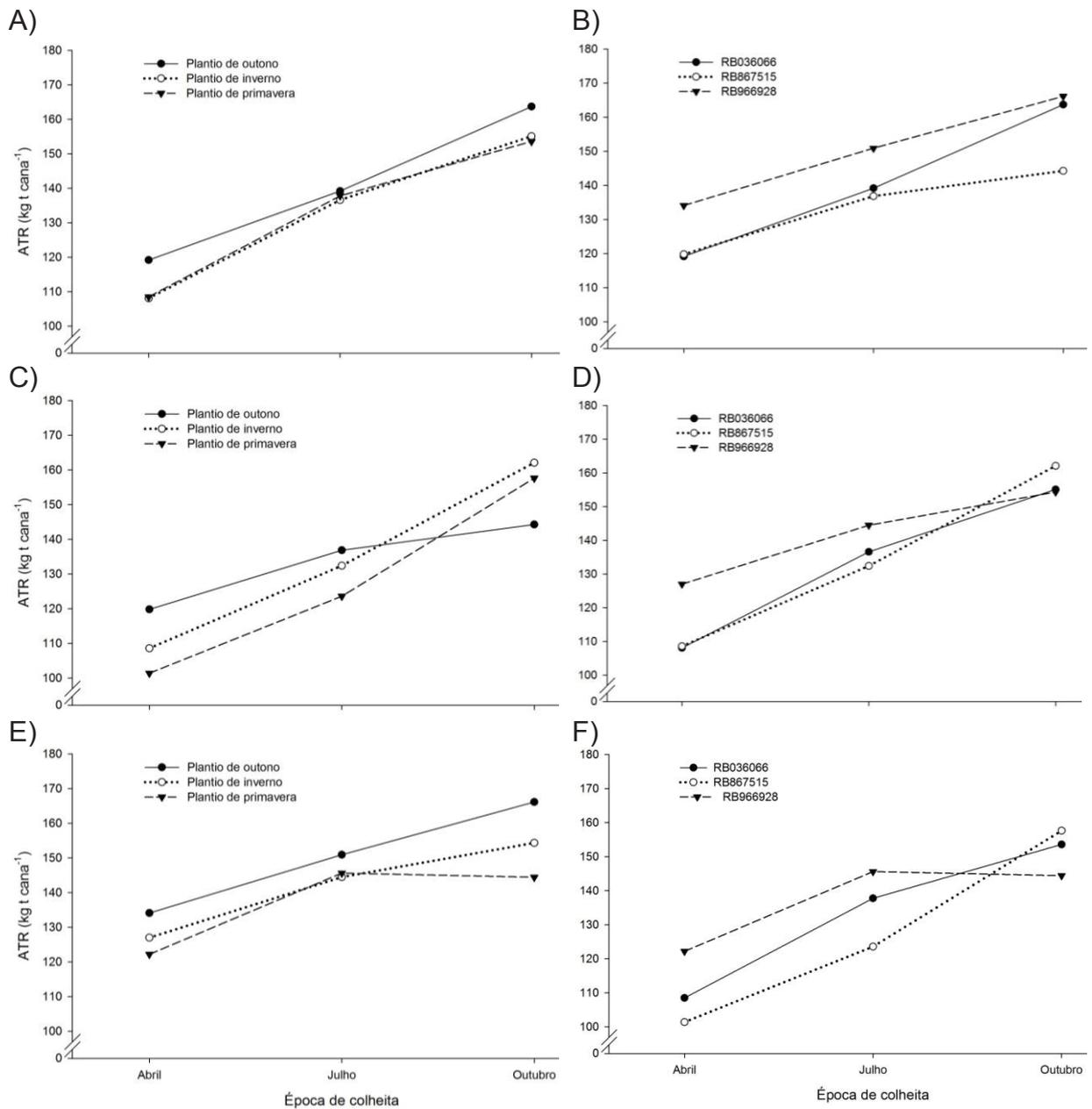


FIGURA 20 - Curva de acúmulo de Açúcares Totais recuperáveis (ATR). Comparação época de plantio versus época de colheita para as variedades RB036066 (A), RB867515 (C) e RB966928 (E). Comparação de variedade versus época de colheita para as épocas de plantio de outono (B), inverno (D) e primavera (E).

Na variedade RB966928 observou-se que o plantio de outono resultou em maiores rendimentos de ATR em todas épocas de colheita, seguido do plantio ocorrido no inverno (Figura 20E). Na colheita do meio do ano, no mês de julho, os valores de ATR dos plantios de inverno e primavera foram similares.

Nas três variedades avaliadas, nota-se que os plantios ocorridos na primavera resultaram nos menores valores de ATR na colheita de abril (Figura 20A,

20C e 20E) (MARCHIORI, 2004). Nesta colheita, independente da época de plantio, os valores de ATR foram inferiores as demais épocas de colheita. Quanto menor a quantidade de dias do ciclo, i.e., quanto menos graus-dias acumulados, menor foi o valor de ATR atingido. A variedade de ciclo precoce RB966928 resultou em maiores valores de ATR na primeira época de colheita quando comparada as demais variedades, com valores superiores a  $120 \text{ kg t cana}^{-1}$ .

Observa-se que os valores de ATR são crescentes ao longo das colheitas. Este comportamento crescente do início para o decorrer do ciclo corrobora com estudos de Lima et al. (1990), Mendonça et al. (1984), Pires et al. (1987) e Marchiori (2004). Para qualquer época de plantio e variedade, a colheita mais tardia, resultou nos valores mais elevados de ATR, com exceção da variedade RB966928 com plantio de primavera e colheita em outubro (Figura 20E).

Comparando as variedades dentro das épocas de plantio, observa-se que no plantio de outono, a variedade RB966928 resultou nos maiores valores de ATR nas três épocas de colheita (Figura 20B). O mesmo ocorreu nos plantios de inverno e primavera, com colheitas em abril e julho (Figuras 20D e 20F). Na colheita de outubro e plantios de inverno e primavera, os maiores valores de ATR foram obtidos na variedade RB867515.

Independente da época de plantio, entre as colheitas de abril e julho tem-se elevado aumento de ATR nas variedades avaliadas. Analisando as condições meteorológicas, é possível inferir que entre abril e julho de 2017 a temperatura do ar e a radiação solar global diminuíram (FIGURA 16), o que promoveu o acúmulo de sacarose, elevando o ATR (FIGURAS 20). A soma térmica entre 15 de abril a 15 de julho de 2017 foi de  $420,1^\circ\text{C dias}$ , isto é, aproximadamente  $4,6^\circ\text{C dias}^{-1}$  de soma térmica por dia, com temperatura média diária de  $19,78^\circ\text{C}$  (FIGURA 17).

No período de 15 de julho a 15 de outubro de 2017, a temperatura média diária foi de  $22,33^\circ\text{C}$ , com média diária de soma térmica de  $7,1^\circ\text{C dias}^{-1}$ , acumulando  $648,7^\circ\text{C dias}$ , ou seja, 35% mais graus-dias que no período anterior. Estas condições de temperatura entre os meses de julho e outubro forneceram condições para diminuir a velocidade no acúmulo de sacarose na variedade RB8671515 plantada no outono, e na RB966928 e RB036066 plantadas no inverno e primavera (Figuras 20B, 20D e 20F). Esta diminuição na inclinação do ATR pode ser características genotípicas e resposta ao ambiente, o qual forneceu condições de temperatura propícias ao crescimento vegetativo. Contudo, o crescimento não

pôde ser acentuado devido a predominância do déficit hídrico entre os meses de julho a outubro de 2017 (FIGURA 19).

Estudos de Marchiori (2004) relata que curvas de ATR nas variedades SP70-1143 e NA 56-79 apresentam máximos nos meses de agosto e setembro, respectivamente, seguido de diminuição, para ciclos de cana planta. No presente estudo a diminuição após o mês de julho não foi observado ao tratar de ATR, com exceção do plantio de primavera da variedade RB966928 (FIGURA 20E). O déficit hídrico entre julho e outubro de 2017 colaborou para a continuação do acúmulo de sacarose na planta, no entanto, com curva menos acentuada que o observado entre as colheitas de abril e julho.

Na tabela 7 verifica-se que houve efeito significativo da variedade apenas no plantio ocorrido no outono. A massa média do colmo da variedade RB966928 foi inferior que as demais, no entanto, a elevada quantidade de colmos elevou o TCH, que também foi estatisticamente superior nesta época de plantio. Para plantio de inverno e primavera, os valores de TAH entre as variedades foram semelhantes.

Em relação as épocas de plantio, os resultados obtidos mostram que nas variedades de ciclo médio RB036066 e médio tardio RB867515, os valores de TAH não foram influenciados (Tabela 7).

Portanto, as condições discutidas de temperatura, radiação solar e déficit hídrico do intervalo entre a primeira e última colheita, de abril a outubro, prejudicou os rendimentos de TCH, uma vez que, caso o ambiente fosse propício, as variedades poderiam ter crescimento vegetativo pleno mais elevado. Entretanto, as condições meteorológicas foram propícias ao acúmulo de TAH.

#### 5.4 CONCLUSÃO

A soma térmica e condições de radiação solar global do plantio de primavera foram mais adequadas para brotação e perfilhamento, o que proporciona maior número de colmos por metro quadrado nas variedades RB036066 e RB867515.

As variedades RB036066 e RB867515 apresentam maior plasticidade, assim, quanto maior o número de graus-dias e radiação solar acumulada durante o ciclo, mais elevado é a massa média do colmo.

Plantios na primavera pode atrasar a maturação na colheita de abril. Nas épocas de colheita, os melhores rendimentos de TAH da variedade RB966928 é do plantio de outono. Os mais elevados rendimentos de TAH ocorrem na colheita de outubro.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO I.; BARBOSA, G.V.S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R.A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1441-1448, 2008.
- ARAÚJO, R. M.; OLIVEIRA, R. A.; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I.R.; WEBER, H. Condições agrometeorológicas para perfilhamento máximo da cultura de cana-de-açúcar em dois ambientes distintos de produção. **Agrometeoros**, v.25(1), p.257-264, 2017.
- ARALDI, R.; SILVA, F. M. L.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência Rural** [online]. 2010, vol.40, n.3, pp.694-702. Epub Mar 12, 2010.
- AUDE, M. I. S.; MARCHEZAN, E; PIGNATARO, I. A. B.; PASQUALETTO, A. Época de plantio e seus efeitos na produtividade e teor de sólidos solúveis no caldo da cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.22(2), p.131-137, 1992.
- CARVALHO, G. L. Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre as safras 1990/1991 e 2005/2006. 2009, 120 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.
- CONSECANA - CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de instruções. Consecana-SP, Piracicaba, SP: CONSECANA, 2002. 120p.
- DELGADO ROJAS, J. S. Modelo agrometeorológico para estimativa dos efeitos de deficiência hídrica na produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar. 1998. 74 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: <<http://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-20181127-161553/>>. Acesso em: 15 jul. 2018.
- DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.) Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas. Viçosa, 2010. 577p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUTT, W. O. Crop water requirements. Rome: FAO, 1975. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24). FERREIRA, RICARDO A., SOUZA, JOSÉ L. DE, LYRA, GUSTAVO B., ESCOBEDO, JOÃO F., & SANTOS, MARSHALL V. C. Energy conversion efficiency in sugarcane under two row spacings in northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 741-747, 2015.

GERSTEMBERGER, E. Caracterização das relações hídricas e ajuste de modelo de produção de água – cultura para cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na região de Paranavaí-PR. 2012. 114 p. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

IAPAR- Instituto Agrônomo do Paraná. Disponível em: <<http://www.iapar.br/>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.89, p.107–122, 2004

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research, Amsterdam**, v. 92, p. 185-202, 2005.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. H.; GLASSOP, D. Sucrose accumulation in sugarcane is influenced by temperature and genotype through the carbon source-sink balance. **Crop & Pasture Science**, v.61, p.111-121, 2010.

JADOSKI, C.J.; TOPPA, B.E.V.; JULIANETTI, A.; HULSBOF, T.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Physiology development in the vegetative stage of sugarcane. **Pesquisa aplicada e agrotecnologia**, [S.l.], v. 3, n. 2, 2010.

JOAQUIM, A. C. Identificação de variedades de cana-de-açúcar em três classes texturais de solos, na região de Araraquara - SP, através de análise de nível de cinza em imagens Landsat/TM. 118p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Desenvolvimento Rural 145 Sustentável) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

LIMA, A. F. P. de; CASAGRANDE, A. A.; BARBOSA, J. C.; NEME, L. H. Comportamento de variedades de cana-de-açúcar, no município de Dumont-SP, com a ocorrência de déficits hídricos no período de desenvolvimento. **STAB**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.9, n.12. p.31-38, set/dez. 1990.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; FRANCELINO, H. O.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.17, n.1, p. 163-181, 2015.

MARAFON, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 168). 1ª Edição. Disponível em <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2012/doc\\_168.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf)>. Acesso em: 19 jun. 2018.

MARCHIORI, L. F. S. Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar. 2004. 273 p. Tese (Doutorado em Agronomia). ESALQ, Piracicaba, SP.

MARIN, F. R. PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; JULLO JUNIOR, J.

Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Cap. 7. P 109-130.

MENDONÇA, J. R. de; NOCITI, P. R. H.; DEOTTI, R. C. Estudos de diferentes épocas de corte em cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., Piracicaba, 1984. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, p.140-149, 1984.

MONTEIRO, L. A. Modelagem agrometeorológica como base para a definição de ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. 2012. 116 p. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba.

MUCHOW, R. C.; EVENSEN, C. I.; OSGOOD, R. V.; ROBERTSON, M. J. Yield accumulation in irrigated sugarcane. II. Utilization of intercepted radiation. **Agronomy Journal**, v.89, p.646-652, 1997.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PIRES, C. E. L. S.; BARBOZA, G. P.; FARIAS, S. O.; MELO, M. M. Influência da época de colheita na qualidade da variedade de cana-de-açúcar RB72454 florescida. **STAB**. Açúcar, Alcool e Subprodutos, v.6, n.2, p.36-38, nov/dez 1987.

ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P.R.C. Ecofisiologia da Produção Agrícola. Piracicaba, POTAFOS, 1987. p.71-82

RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar. Curitiba, 136 p. 2010.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia: I. radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, p.11-25, 1996.

RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G.T. Relatório da fase I do projeto ESTIMA: desenvolvimento de um modelo para estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar baseado em dados Landsat e agrometeorológicos. 93p. Relatório Técnico - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.

SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy**, v.65, p.215-265, 1999.

SINGELS, A. et al. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, v.92, n. 2-3, p.249–260, 2005.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHIER, J. R. The water Balance. Centerton: Drexel

Institute of technology, 1955. 104 p.

THOMPSON, G. D. Water use by sugarcane. **South Africa Sugarcane Journal**,  
Petroria. v.60, n.11, p. 592-600, p. 627-635. 1976.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho foi possível evidenciar como as distintas condições meteorológicas do ambiente de produção, como temperatura, radiação solar global e disponibilidade hídrica podem influenciar o crescimento e o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar.

Além disso, até o dado momento, a cultura da cana-de-açúcar não possui fases fenológicas pontualmente definidas, como acontece em outras culturas.

Este trabalho é apenas o começo de uma longa caminhada, na busca de compreender como a cultura da cana-de-açúcar responde as condições do ambiente. Os resultados aqui relatados podem auxiliar no entendimento de como os genótipos avaliados podem ser manejados para se obter a melhor produtividade, segundo as condições meteorológicas.

Uma próxima etapa deste trabalho é buscar o ponto de murcha de cada um dos genótipos avaliados, no ambiente de produção do Paraná.

Podemos adequar o manejo e escolher o genótipo a ser cultivado, mas não temos controle sobre o ambiente. Este, é o motivo da necessidade de entender de fato as respostas da cultura da cana-de-açúcar às condições ambientais.

Assim, estudos futuros que busquem investigar como a cultura é influenciada por radiação solar, temperatura do ar e do solo, umidade do ar e do solo, vento, época de plantio, tipo de solo, manejo, adubação e etc., são de suma importância, para compreender efetivamente as inter-relações ambientais com esta cultura e, apoiar o setor sucroenergético, para um planejamento e tomadas de decisões mais efetivas.

## REFERÊNCIAS GERAIS

ALMEIDA, A. C. DOS S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1441-1448, 2008.

ARALDI, R.; SILVA, F. M. L.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência Rural** [online]. 2010, vol.40, n.3, pp.694-702. Epub Mar 12, 2010. ISSN 1678-4596

ARAÚJO, R. M.; OLIVEIRA, R. A.; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I.R.; WEBER, H. Condições agrometeorológicas para perfilhamento máximo da cultura de cana-de-açúcar em dois ambientes distintos de produção. **Agrometeoros**, v.25(1), p.257-264, 2017.

ARGENTON, P. E. Influência das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* SP), na região de Piracicaba. 2006, 109 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BACHI, O. O. S.; SOUZA, J. A. G. C. Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 1. 1978. London. **Anais...** London: ISSSCT, 1978. v. 2, p 1733-1741.

BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.).1981. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). ESALQ, Piracicaba, SP.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. Climatologia e a cana-de-açúcar. Araras: PLANALSUCAR, Coordenaria Regional Sul, 1977. 22 p.

BATALHA, B. R. Temperatura do dossel vegetativo da cana-de-açúcar sob diferentes condições meteorológicas e potenciais de água no solo. 2011. 166p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BLANCO, F., SENTELHAS, P. C. Determinação dos coeficientes da equação de Angström para a estimativa da radiação solar global e insolação para Piracicaba, SP. In: Congresso Brasileiro e Reunião Latinoamericana de Agrometeorologia, 12, e Reunião Latinoamericana de Agrometeorologia, 3, 2001. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Fundação Cearense de Agrometeorologia, 2001. v.1. p.115-116.

BOLLIGER, R. Extensão geográfica da cana-de-açúcar. In: Relatório anual da estação agrônômica de Campinas. São Paulo: Secretária da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de São Paulo, p. 728-744, 1901

CAIRO, N. O livro da cana-de-açúcar. 2 ed. Curitiba, 1924. p. 161.

CAPUTO, M. M. Efeito do tombamento nas características tecnológicas e biométricas de variedades de cana-de-açúcar. 2003. 63f. Monografia (Trabalho de graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

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

CARVALHO, G. L. Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre as safras 1990/1991 e 2005/2006. 2009, 120 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

CECÍLIO, R. A.; MEDEIROS, S. S.; DANTAS NETO, F. S.; SOUZA, J. A. A.; SOARES, A. A. Zoneamento climático associado ao potencial de cultivo das culturas do café, cana-de-açúcar e amendoim nas sub-bacias do alto e médio São Francisco em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, p. 39-45, 2003.

CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Manejo agrometeorológico de pragas e doenças visando aplicação de agroquímicos. Uma análise preliminar. 2009. Disponível em: < <http://www.ciiagro.sp.gov.br/pragas.html>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

CLAYTON, W. D.; DANIELS, C. A. Geographical, historical and cultural aspect of origin of the Indian and Chinese sugarcane *S. barbei* *S. sinensis*. **ISSCT Sugarcane Breed Newslater**, Mackknage, v. 36, p. 4-23, 1975

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar - Safra 2018/19. v.5, n. 2, 2018, 86p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 dez. 2018.

COSTA, C. Primeiras canas e primeiros açúcares no Brasil. **Brasil Açucareiro**, v.3, p160-168, 1958.

COSTA, L. G.; MARIN, F. R. NASSIF, D. S. P; PINTO, H. M. S.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 5, p.469–474, 2014.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V. L. D.; SILVA, J. F.; SANCHES, A. V. Radiação: estudo das características e suas aplicações no Recôncavo Baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA E 12 REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA. 3., Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBA/FUNCEME, 2001. p. 135.

DARLI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu. v. 13, n. 1, p. 1-11. 2008.

DEERR, N. A history of sugar. London: Champman and Hall, v.2, p.636, 1949.

DELGADO ROJAS, J. S. Modelo agrometeorológico para estimativa dos efeitos de deficiência hídrica na produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar. 1998. 74 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: <<http://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-20181127-161553/>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

DILLEWIJN, C. van. Botany of sugarcane: The Chronica Botanica. New York: Stechert-Hafner, 1952. 371 p.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p.31-44.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas. Viçosa: Editora UF, 2010. p. 25-49.

DONALDSON, R.A.; SINGELS, A. Yields and estimated economic returns from using ethephon to suppress flowering in annually harvested sugarcane. Mount Edgecombe: **Swaziland Sugar Association Technical Services**, 2004. p.12.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306 p. (Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUTT, W. O. Crop water requirements. Rome: FAO, 1975. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

EBRAHIM, M. K.; ZINGSHEIM, O.; EL-SHOUBAGY, M. N.; MOORE, P. H.; KOMORE, E. Growth and sugar storage in sugarcane grown at temperature below optimum. **Journal Of Plant Physiology**, v. 153, n. 5-6, p. 593-602, 1998.

FAUCONIER, R.; BASSEREAU, D. La caña sw azucar. Barcelona: Blume, 1975. 433 p.

FAUCONIER, R.; BASSEREAU, D. La canne à sucre. Clllection Techniques Agricoles et Productions Tropicales. Paris: Ed. Maisonneuve et Larose, 1970. 103 p.

FERREIRA, RICARDO A., SOUZA, JOSÉ L. DE, LYRA, GUSTAVO B., ESCOBEDO, JOÃO F., & SANTOS, MARSHALL V. C. Energy conversion efficiency in sugarcane under two row spacings in northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia**

**Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 741-747, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662015000800741&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015000800741&lng=en&nrm=iso)>. Acesso: 19 Dec. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p741-747>.

FERREIRA JUNIOR, A.F.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I, LYRA, G. B.; SOUZA, R. C.; ARAÚJO NETO, R. A. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.322-328, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000300012>

FIGUEIREDO, P.; LANDELL, M. G. A.; CAMPNA, M. P. Cana-de-açúcar. 6 ed. Campinas: IAC, 1995. (Boletim 200)

GALVANI, E.; BARBIERI, V.; PEREIRA, A. B.; VILA NOVA, N. A. Efeitos de diferentes espaçamentos entre sulcos na produtividade agrícola da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n. 1-2, p. 62-68, 1997. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90161997000100009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161997000100009&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 23 abr. 2018.

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

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.89, p.107–122, 2004

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research, Amsterdam**, v. 92, p. 185-202, 2005.

LIU, D. L.; BULL, T. A. Simulation of biomass and sugar accumulation in sugarcane using a process-based model. **Ecological Modelling**, v.144, p.181-211, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00372-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00372-6)

JOAQUIM, A. C. Identificação de variedades de cana-de-açúcar em três classes texturais de solos, na região de Araraquara - SP, através de análise de nível de cinza em imagens Landsat/TM. 118p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Desenvolvimento Rural 145 Sustentável) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

LANA, M. A. ; VIEIRA, H. J. . Fator de Correlação Entre Radiação Fotossinteticamente Ativa e Radiação Solar Global. In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e III Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2001, Fortaleza. **Anais...** XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e III Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2001. v. 1.

LIMA, G. A. A cultura. Da cana-de-açúcar. Fortaleza: Typ. Oficial do Ceará, 1984, p. 159.

LIPPMAN, E. O. von. História do açúcar. Tradução de Rodolfo Coutinho. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Álcool, T. 2, pt 10, p. 12-31, 1942.

LISSEN, S. N.; ROBERTSON, M.J. ; KEATING, B. A.; MUCHOW, R. C. Modelling

sugarcane production systems. II: analysis of system performance and methodology issues. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 31-48, 2000.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; TSUIOSHI, Y. Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: POTAFOS, 1987. P. 115-118.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; FRANCELINO, H. O.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.17, n.1, p. 163-181, 2015. DOI: 10.5935/1809-2667.20150011

MARAFON, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar : uma introdução ao procedimento prático. – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 168). 1ª Edição. Disponível em <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2012/doc\\_168.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf)>. Acesso em: 19 jun. 2018.

MARCHIORI, L. F. S. Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar. 2004. 273 p. Tese (Doutorado em Agronomia). ESALQ, Piracicaba, SP.

MARIN, F. R. Árvore do conhecimento, cana-de-açúcar. Clima. 2011. Disponível em:< [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_10\\_711200516716.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_10_711200516716.html)>. Acesso em: 23 jun. 2018.

MARIN, F. R. PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; JULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Cap. 7. P 109-130.

MARIN, F. R.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R. How can crop modeling and plant physiology help to understand the plant responses to climate change? A case study with sugarcane. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.26(1), p.49–63, 2014. <https://doi.org/10.1007/s40626-014-0006-2>

MARIN, F. R.; THORBURN, P. J.; NASSIF, D. S. P.; COSTA, L. G. Sugarcane model intercomparison: Structural differences and uncertainties under current and potential future climates. **Environmental Modelling & Software**, v.72, p.372-386, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.02.019>

MARIN, F.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. A Stochastic Method for Crop Models: Including Uncertainty in a Sugarcane Model. *Agronomy Journal Abstract - Biometry, Modeling & Statistics*, v.109(2), p.483-495, 2017. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0103>

MIERES, L. S.; SALDANHA, C. B.; TSCHIEDEL, A. F.; SALDANHA, R. L.; CARDOSO, M. A. G. Projeções climáticas das alterações da quantidade de água no

solo disponível para o cultivo de soja. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, p.807-818, 2012.

MONTEIRO, L. A. Modelagem agrometeorológica como base para a definição de ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. 2012. 116 p. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A de S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, F. M. História da morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de (coord.). Atualização em cana-de-açúcar. Piracicaba: Livrocere, 2006. P. 11-18.

NICKELL, L. G. Ecophysiology of sugar cane. In: ALVIM, P. T. (Coord). Ecophysiology of tropical crops. Itabuna: CEPLAC, 1975. P. 1-52.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná: taxas de crescimento. **Revista Scientia Agrária**. Curitiba, v. 6, n. 1-2, p. 85-89, 2005.

OMETTO, J. C. Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ. 1980. 17 p.

ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P.R.C. Ecofisiologia da Produção Agrícola. Piracicaba, POTAFOS, 1987. p.71-82

PAULA, A. L. Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em ambiente protegido sob diferentes níveis freáticos. 2008. 149 p. Dissertação (Doutorado). ESALQ, Piracicaba, SP.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A.R. et al. Condicionamento climático da indução ao florescimento em cana-de-açúcar. Boletim Técnico PLANALSUCAR, v.5, p.5-14, 1983

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região central do Brasil. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 110, p. 12-17, jun. 2005.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Barros e Marques Editoração Eletrônica, 1 ed. 2004. 302 p.

ROACH, B. T.; DANIELS, J. A review of the origin and improvement of sugarcane. In: COPERSUCAR INTERNATIONAL SUGARCANE BREEDING WORKSHOP, 1987. Piracicaba: Copersucar, p. 1-31, 1987.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under

high input conditions in tropical Australia: I. radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, p.11-25, 1996.

ROCHA, J. V.; PICOLI, M. C. A.; DUFT, D. G.; ROCHA, A. M.; MOREIRA, M. E. M. Monitoramento da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Boletim Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol** [online]. 2015, n.7

RODRIGUES, C. C. F.; PATRIOTA, M. R. A.; SILVA, B. B. S.; OLIVEIRA, A. B. Influência entre relação de radiação fotossinteticamente ativa e radiação global na produtividade primária bruta para Santa Sita do Passa Quatro - SP. **Ciência e Natura**, p. 52 – 56, 2018.

RODRIGUES, J. D. Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu: UNESP, 1995. 100 p. (Apostila).

RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G.T. Relatório da fase I do projeto ESTIMA: desenvolvimento de um modelo para estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar baseado em dados Landsat e agrometeorológicos. 93p. Relatório Técnico - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.

SANTOS, M. J. Z. Influências climáticas associadas às pedológicas e econômicas na produção de cana-de-açúcar nos núcleos canavieiros do Estado de São Paulo. 411p. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1981.

SCARPARI, M. S. Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através de parâmetros climáticos. 2002. 94 p. Dissertação (Mestrado Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.

SINCLAIR, T. R.; GILBERT, R. A.; PERDOMO, R. E.; SHIME JR., J. M.; POWELL, G.; MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 88, p. 171-178, 2004.

SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy**, v.65, p.215-265, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2113\(08\)60914-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2113(08)60914-1)

SMITH, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção de cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-12. 1999.

SOUZA, J. M. H.; CUADRA, S. V.; PINTO, L. B.; CASTRO, J. R.; ARAÚJO, R. M.; ALMEIDA, I. R.; SILVA, S. D. A. Análise de Sensibilidade dos Coeficientes Genéticos do Modelo Canegro/DSSAT. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 2, p.47-52, 2017.

STEVENSON, G. C. Genetics and breeding of sugar cane. London: Longmans, 1965. P. 284.

SUGUITANI, C.; MATSUOKA, S. Efeitos do fósforo nas características industriais agrícola em cana-de-açúcar (cana planta) cultivada em duas regiões do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CINECIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. Ciência do solo: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade; resumos... Londrina: SBCS, 2011. P. 119

TAIZ, L.; ZIEGER, E. Fisiologia Vegetal. Trad. de E. R. Santarém et al. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719 p.

TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRARO JR., L. A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 54, p. 39-44, 1997.

THOMPSON, G. D. Water use by sugarcane. **South Africa Sugarcane Journal**, Petroria. v.60, n.11, p. 592-600, p. 627-635. 1976.

VAN HEERDEN, P. D. R. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.61, n.11, p. 2877–2887, 2010.

VERED, E.; RAO, V. P. Clima. 2014. Disponível em: <<http://www.sugarcane crops.com/p/climate/>>. Acesso em: 28 set. 2018.

WANG, Z.; ZHAO, X.; WU, P.; HE, J.; CHEN, X.; GAO, Y.; CAO, X. Radiation interception and utilization by wheat/maize strip intercropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.204, p.58-66, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.004>

YEU, W.K. Studies on flowering of sugar cane in the South of Haiwan, China. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 17., 1980, Manila. **Anais...** Makati: Metro Manila, 1980. p.1301-1306.