

ADOLFO BERGAMO ARLANCH

**FRACIONAMENTO ISOTÓPICO DE ^{13}C E A PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-
AÇÚCAR NOS MANEJOS DE SEQUEIRO E IRRIGADO POR GOTEJAMENTO**

**BOTUCATU
2018**

ADOLFO BERGAMO ARLANCH

**FRACIONAMENTO ISOTÓPICO DE ^{13}C E A PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-
AÇÚCAR NOS MANEJOS DE SEQUEIRO E IRRIGADO POR GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agronômicas da UNESP
– Campus de Botucatu, para obtenção
do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

Orientador: Prof. Dr. Glauber José de
Castro Gava

**BOTUCATU
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

A723f Arlanch, Adolfo Bergamo, 1990-
Fracionamento isotópico de ^{13}C e a produtividade de cana-de-açúcar nos manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento / Adolfo Bergamo Arlanch. - Botucatu: [s.n.], 2018
103 p.: il., color., grafs., tabs

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Glauber José de Castro Gava
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Irrigação. 2. Cana-de-açúcar - Produtividade. 3. Irrigação - Manejo. I. Gava, Glauber José de Castro. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: FRACIONAMENTO ISOTÓPICO DE ^{13}C E A PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR NOS MANEJOS DE SEQUEIRO E IRRIGADO POR GOTEJAMENTO

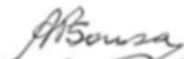
AUTOR: ADOLFO BERGAMO ARLANCH

ORIENTADOR: GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA
APTA - Regional Centro Oeste / SAA/SP



Prof. Dr. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Dr. ORIEL TIAGO KOLLN
Divisão Agrícola do CTBE / Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

Botucatu, 26 de janeiro de 2018

À minha família, por acreditarem e investirem em mim. Jussara Bergamo Arlanch, seu cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. André Luiz Arlanch, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

DEDICO E OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus que é a inteligência suprema do universo e causa primária de todas as coisas;

À minha Família, por ser uma base sólida em minha vida, pelo apoio em todos os momentos;

À meu tio e grande amigo Aldo Arlanch Junior, por ser umas das pessoas mais inteligentes e integras que conheço, pois sem ele não estaria onde estou hoje;

Agradeço muito o Prof. Dr. Glauber José de Castro Gava, resumi-lo como meu orientador é muito pouco e tenho certeza que ele sente a importância que teve não só na condução do trabalho, mas também em minha vida profissional. Não levo só os ensinamentos, mas também uma boa amizade;

À minha namorada Maria Laura Rufatto e sua família pelo apoio e ajuda na reta final deste projeto;

À UNESP /FCA, pela oportunidade de realizar o mestrado;

Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA-Jaú);

À CAPES, pela concessão da bolsa;

Aos Funcionários da UNESP/FCA, aos professores excelentes profissionais, as secretarias sem prestativas, ao pessoal da biblioteca interessados em ajudar e aos funcionários da limpeza sempre simpáticos e deixando os ambientes sempre organizados;

Aos amigos que fiz ao longo dessa jornada, que me apoiaram, incentivaram e ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, no grupo na APTA: William, Gisele, Melissa, Carlos, Francine, Fernanda também pelos momentos de descontração, no mestrado: Enrique, Pedro, Paulo e Luz maria pelos momentos de aprendizados, de descontração e alguns apuros ao longo dos anos, mas sempre superados;

Ao Dr. Fábio Vale Scarpore pelo incentivo e colaboração ao longo do projeto;

Aos amigos que a vida já tinha me presenteado só fortaleci ainda mais os laços de amizade, só tenho a agradecer a eles por todo apoio que me deram e sempre com palavras de incentivo, sendo eles: Pedro, Angelo, Rafael, Bruno (nosso futuro juiz), Carol, Marcos, Diego, Adelcio, Yuri e João;

Aos funcionários e amigos da APTA, por toda a ajuda na execução deste trabalho: seu Geraldo, Valdir, João, Valmira, Silmara, Fábio, Edílson, Adilson, Fabinho;

Aos pesquisadores da APTA, Dra. Elisangela Marques Jeronimo Torres; Dra. Gabriela Aferri; Dr. Gianmarco Silva David, Mário Pércio Campana; por me receberem tão bem, pela amizade e sempre procurarem ajudar com ideias e palavras de incentivo;

À Associação dos Plantadores de Cana da Região de Jaú (Associcana), pela realização das análises tecnológicas da cana-de-açúcar;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente ao longo deste caminho, e minhas sinceras desculpas se esqueci o nome de alguém, mas agradeço a todos.

RESUMO

A cana-de-açúcar tem grande importância nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. O Brasil destaca-se na produção mundial, sendo um dos maiores produtores de etanol e açúcar, no mundo. Entretanto, a produtividade da cultura ainda é baixa em muitas regiões do país, principalmente devido à deficiência hídrica. Uma maneira de aumentar o potencial de produtividade desta cultura seria: identificar genótipos de cana-de-açúcar, tolerantes a deficiência hídrica, procurando uma estratégia de convivência com ambientes mais restritivos. Outra forma seria realizar a fenotipagem de genótipos, de elevado potencial de produtividade, para ambientes de baixa deficiência hídrica (ambientes com tecnologia de irrigação). Assim esse trabalho teve como objetivo avaliar possíveis índices fisiológicos e nutricionais para realizar esta seleção (fenotipagem). O presente trabalho foi desenvolvido no município de Jaú, no Estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas de: 22°17'S 48°34'O, em Latossolo Vermelho. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro genótipos de cana-de-açúcar em dois sistemas de manejos: irrigado e sequeiro. Os genótipos utilizados de cana-de-açúcar foram: RB867515; SP80-1842; CTC6 e RB92579. O experimento teve duração 393 dias e durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foram realizadas avaliações fisiológicas: condutância estomática, temperatura foliar, estimativa do conteúdo de clorofila aparente (índice SPAD) e o fracionamento isotópico de ^{13}C nas folhas de cana-de-açúcar. Foram realizadas também, curvas de acúmulo de matéria seca e nutrientes: N, P, K, Ca e Mg. Na colheita final, aos 393 dias após o corte (DAC), foram realizadas as análises tecnológicas e determinou-se a produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH). As avaliações fisiológicas de: condutância estomática, temperatura foliar e o fracionamento isotópico de ^{13}C nas folhas, foram os parâmetros que demonstraram maiores diferenças significativas para a fenotipagem. Ocorreram diferenças no acúmulo de matéria seca e dos nutrientes nos dois manejos para todos os genótipos estudados. Os genótipos RB867515 e SP80-1842, foram mais tolerantes a deficiência hídrica e os genótipos CTC6 e RB92579, foram mais responsivas à manejo com maior disponibilidade hídrica (ambiente irrigado).

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; condutância estomática; temperatura foliar; acúmulo de matéria seca; acúmulo de macronutrientes; análise do crescimento.

ABSTRACT

Sugarcane is of great importance in the tropical and subtropical regions of the world. Brazil stands out in the world production, being one of the largest producers of ethanol and sugar, in the world. However, crop productivity is still low in many regions of the country, mainly due to water deficiency. One way to reach elevations in the productivity potential of this crop would be to: identify sugarcane genotypes, tolerant to water deficiency, seeking a strategy of coexistence with arid environments. Another way would be to genotype phenotyping, with high productivity potential, for environments with low water deficiency (environments with irrigation technology). Thus, the objective of this study was to evaluate possible physiological and nutritional indexes for this selection (phenotyping). The present work was developed in the city of Jaú, in the State of São Paulo, in the geographic coordinates of: 22 ° 17'S 48 ° 34'O, in Red Latosol. The experimental design was a randomized block design with four sugarcane genotypes in two management systems: irrigated and dry. The genotypes used for sugarcane were: RB867515; SP80-1842; CTC6 and RB92579. The experiment lasted 393 days and during the development cycle of the crop, physiological evaluations were performed: stomatal conductance, leaf temperature, estimated chlorophyll content (SPAD index) and isotopic fractionation of ^{13}C in sugarcane leaves. Curves of accumulation of dry matter and nutrients were also performed: N, P, K, Ca and Mg. At the final harvest, at 393 days after the cut (DAC), the technological analyzes were carried out and the yield of stalks (TCH) and sugar (TPH) were determined. The physiological evaluations of stomatal conductance, leaf temperature and the isotopic fractionation of ^{13}C in leaves were the parameters that showed the greatest significant differences for phenotyping. There were differences in the accumulation of dry matter and nutrients in the two treatments for all the genotypes studied. The genotypes RB867515 and SP80-1842, were more tolerant to water deficit and the genotypes CTC6 and RB92579, were more responsive to environments with higher water availability (irrigated environment).

Keywords: *Saccharum* spp; stomatal conductance; leaf temperature; accumulation of dry matter; macronutrient accumulation; analysis of growth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resumo dos principais efeitos da deficiência hídrica das folhas de plantas de ciclo C ₄	28
Figura 2 – Representação esquemática do fracionamento isotópico de carbono na fotossíntese em plantas de ciclo C ₃ e C ₄	29
Figura 3 – Porcentagem de aplicação dos fertilizantes durante o experimento (2015/2016), nos manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento (fertirrigação).....	35
Figura 4 – (A) Casa de abrigo do conjunto moto bomba, registros e tanque de água, equipamentos já existentes no local. (B) Tambores para diluição do fertilizante utilizado na fertirrigação	35
Figura 5 – Temperatura mínima, máxima e media durante a realização do experimento	36
Figura 6 – Balanço hídrico durante a realização do experimento out15/nov16 para o manejo irrigado	37
Figura 7 – Balanço Hídrico durante a realização do experimento out15/nov16 para o manejo sem irrigação (sequeiro)	38
Figura 8 – Clorofilômetro, SPAD-502, leitura em folha +3 de cana-de-açúcar	39
Figura 9 – Porômetro, leitura em folha +1 de cana-de-açúcar	40
Figura 10 – Espectrômetro de massas, modelo ANCA-SL Hydra 20-20 SERCON	42
Figura 11 – (A) Amostragem sequencial de colmos, folhas secas e ponteiros (folhas verdes e palmitos). (B) determinação da massa fresca das amostras ..	43
Figura 12 – (C) Amostras de colmos, folhas secas e ponteiros sendo trituradas para a homogeneização do material. (D) Subamostras de material fresco sendo encaminhados para estufa de ventilação forçada à 65 °C para a determinação da matéria seca	44
Figura 13 – (E) Moagem das subamostras de colmos, folhas secas e ponteiros. (F) acondicionamento das subamostras moídas de material seco nos frascos de acrílico para a determinação do teor de nutrientes: N; P; K; Ca; Mg	44

Figura 14 – Evolução do teor relativo de clorofila aparente (SPAD), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos	48
Figura 15 – Evolução do índice de área foliar (IAF), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos	51
Figura 16 – Evolução da condutância estomática (gs), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos	53
Figura 17 – Evolução da temperatura foliar (°C), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos	56
Figura 18 – Fracionamento isotópico ($\Delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$), do genótipo RB867515; nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos	60
Figura 19 – Fracionamento isotópico ($\Delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$), do genótipo SP80-1842; nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos	61
Figura 20 – Fracionamento isotópico ($\Delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$), do genótipo CTC6; nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos	62
Figura 21 – Fracionamento isotópico ($\Delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$), do genótipo RB92579; nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos	63
Figura 22 – Acúmulo de matéria seca da parte aérea (Mg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	65
Figura 23 – Taxa de acúmulo de matéria seca ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	67
Figura 24 – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	70

Figura 25 – Taxa de acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar ($\text{g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	72
Figura 26 – Acúmulo de fósforo na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	74
Figura 27 – Taxa de acúmulo de fósforo na parte aérea da cana-de-açúcar ($\text{g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	76
Figura 28 – Acúmulo de potássio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	78
Figura 29 – Taxa de acúmulo de potássio na parte aérea da cana-de-açúcar ($\text{g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	80
Figura 30 – Acúmulo de cálcio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	82
Figura 31 – Taxa de acúmulo de cálcio na parte aérea da cana-de-açúcar ($\text{g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	84
Figura 32 – Acúmulo de magnésio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	87
Figura 33 – Taxa de acúmulo de magnésio na parte aérea da cana-de-açúcar ($\text{g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos	89
Figura 34 – (A) Evolução das variável Fibra (%) e (B) teor de sacarose aparente (PCC), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos	91
Figura 35 – (A) Produtividade de colmos (TCH) e (B) produtividade de açúcar (TPH), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química de macronutrientes do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm	33
Tabela 2 - Análises químicas de micronutrientes do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.	33
Tabela 3 - Análise física do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm	34
Tabela 4 - Análise do teor relativo de clorofila aparente (SPAD), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura	47
Tabela 5 - Índice de área foliar (IAF), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura	50
Tabela 6 - Condutância estomática (gs), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura	52
Tabela 7 - Temperatura foliar (°C), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura	55
Tabela 8 - Fracionamento isotópico de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.....	58
Tabela 9 - Acúmulo de matéria seca da parte aérea (Mg há^{-1}), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.....	64
Tabela 10 - Modelo sigmoidal do acúmulo de matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos	66
Tabela 11 - Acúmulo de nitrogênio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg há^{-1}), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.....	69
Tabela 12 - Modelo sigmoidal do acúmulo de nitrogênio da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos	71
Tabela 13 - Acúmulo de fósforo da parte aérea da cana-de-açúcar (kg há^{-1}), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.....	73
Tabela 14 - Modelo sigmoidal do acúmulo de fósforo da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos	75
Tabela 15 - Acúmulo de potássio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg há^{-1}), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.....	77

Tabela 16 - Modelo sigmoidal do acúmulo de potássio a da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos	79
Tabela 17 - Acúmulo de cálcio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.....	81
Tabela 18 - Modelo sigmoidal do acúmulo de cálcio a da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos	83
Tabela 19 - Acúmulo de magnésio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.....	86
Tabela 20 - Modelo sigmoidal do acúmulo de cálcio a da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos	88
Tabela 21 - Qualidade da matéria-prima (Fibra; PCC e ATR); e produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH).....	90

Sumário

1 INTRODUÇÃO	21
2. REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1 Importância econômica da cana-de-açúcar	25
2.2 Análise quantitativa do crescimento da cana-de-açúcar	25
2.3 Deficiência hídrica na cultura da cana-de-açúcar	27
2.4 Fracionamento isotópico de ^{13}C em plantas de ciclo C_4	28
2.5 Tecnologia de irrigação em cana-de-açúcar e produtividade	31
2.6 Fenotipagem de genótipos de cana-de-açúcar tolerantes a deficiência e responsivas a irrigação	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 Caracterização da área, tratamentos e delineamento experimental	33
3.2 condições ambientais e manejo da irrigação	36
3.3 Características do material genético utilizado	38
3.4 Análises	39
3.4.1 Análises fisiológicas	39
3.4.1.1 Teor relativo de clorofila aparente (SPAD)	39
3.4.1.2 Índice de área foliar (IAF)	40
3.4.1.3 Condutância estomática	40
3.4.1.4 Temperatura foliar	41
3.4.1.5 Determinação do fracionamento isotópico de ^{13}C	41
3.5 Acúmulo de matéria seca e de nutrientes	43
3.6 Produtividade final e qualidade da matéria prima	45
3.7 Análise estatística dos resultados	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Avaliações fisiológicas	47
4.1.1 Teor relativo de clorofila aparente (SPAD)	47
4.1.2 Índice de área foliar (IAF)	49
4.1.3 Condutância estomática	52
4.1.4 Temperatura foliar	54
4.1.5 Fracionamento isotópico de carbono	57
4.2 Acúmulo de matéria seca	63
4.3 Acúmulo de nutrientes	68
4.3.1 Nitrogênio	68
4.3.2 Fósforo	72

4.3.3 Potássio	77
4.3.4 Cálcio	81
4.3.5 Magnésio.....	85
4.4 Produtividade e qualidade da matéria-prima.....	90
5 CONCLUSÕES	95
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a produção vegetal, pois sua falta ou o excesso prejudicam o crescimento e desenvolvimento das plantas (NILSEN; ORCUTT, 1996).

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea que pertence à família Poaceae, teve sua provável origem no sudeste Asiático e é cultivada no Brasil desde o século XVI (PROCÓPIO et. al, 2004). Plantada em mais de 90 países, em regiões tropicais e subtropicais, desde o paralelo 35°N até o paralelo 30°S (ALFONSI et al., 1987). O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil concentra-se nas regiões Sudeste e Centro Oeste segundo a CONAB (2017), porém a região Centro-Oeste em grande parte, são áreas que apresentam solos de baixa fertilidade e pouca capacidade de armazenamento de água. Mesmo sendo um ambiente não adequado para a cultura da cana-de-açúcar, ela está em constante crescimento.

Existem alguns fatores que podem limitar o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, como por exemplo, a deficiência hídrica, ela pode ocorrer em épocas que a planta tem maior necessidade de água (TAIZ; ZEIGER, 2004). Sabe-se que a água é fundamental para a fotossíntese, sendo um fator restritivo ao crescimento, por isso a produção de cana-de-açúcar, está ligada à disponibilidade hídrica do solo (RHEIN, 2013). Existem quatro principais tipos de fases fenológicas na cultura de cana-de-açúcar, são elas: brotação, perfilhamento, grande crescimento e maturação. As fases de perfilhamento e grande crescimento, são consideradas a de maior sensibilidade à deficiência hídrica, por isso nessas fases, a falta de água pode reduzir a produtividade drasticamente (RAMESH, 2000). Deste modo, as tecnologias de irrigação podem mitigar a deficiência hídrica e seus efeitos negativos (FARIAS et al, 2008).

Segundo Doorenbos e Kassam (1979) e Ometto (1980) dependendo do clima, a quantidade de água que a cultura necessita é estimada entre 1.500 e 2.500 mm. Foligata (1974) verificou que para as condições climáticas de Tucumán na Argentina a cana-de-açúcar precisou de 12,5 a 14,9 mm de água para produzir um megagrama (Mg) de cana-de-açúcar. Singh et al. (2007) também observaram em um estudo de campo conduzido por dois anos em um solo arenoso e outro argiloso com vários regimes de umidade do solo na Índia subtropical, que a eficiência de utilização de água variou de 13 a 16 mm de água para se produzir uma megagrama (Mg) de cana-de-açúcar.

No Brasil o cultivo da cana-de-açúcar se localiza em áreas de precipitação média anual de 1.100 à 1.500 mm ano⁻¹ (ALFONSI et al., 1987). Entretanto, este volume de precipitado muitas vezes é mal distribuído durante o ciclo agrícola, assim seria de grande importância o uso da tecnologia de irrigação para se obter elevadas produtividades (DANTAS NETO et al. 2006 e FARIAS et al. 2008).

Nas ilhas Maurícios, a produtividade da cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, utilizando-se o genótipo R 570, foi de 73 Mg ha⁻¹ e 170 Mg ha⁻¹ de colmos, respectivamente para os manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento (BATCHELOR; SOOPRAMANIEN 1995). Na região de Piracicaba, SP, a soqueira de cana-de-açúcar de segundo corte irrigada por gotejamento, elevou sua produtividade em 16% (20 Mg ha⁻¹) comparada com o manejo de sequeiro (CARRETERO 1982). A produtividade média de três ciclos de cultivo da cana-de-açúcar (cana planta, primeira e segunda soqueira) no manejo irrigado por gotejamento foi de 202 Mg ha⁻¹ e contrapartida a média de produtividade desses três ciclos em manejo de sequeiro foi de 145 Mg ha⁻¹ (DALRI 2004).

Kölln (2012), na região de Jaú, SP, no ciclo agrícola de 2008-2009, utilizando o genótipo SP80-3280, obteve uma produtividade de 132,8 Mg ha⁻¹ de colmos e 22,3 Mg ha⁻¹ de açúcar em ambiente com menor deficiência hídrica (irrigado). Em ambiente com maior deficiência hídrica (sequeiro), constatou que as produtividades de colmos e de açúcar foram respectivamente de 91,3 Mg ha⁻¹ e 15,3 Mg ha⁻¹. Dellabiglia (2016), na mesma região citado a cima anterior, utilizando o genótipo RB92579, em manejo de irrigação por gotejamento, obteve uma produtividade de 185 Mg ha⁻¹ de colmos e 27,5 Mg ha⁻¹ de açúcar. No manejo de sequeiro a produtividade foi de 95 Mg ha⁻¹ de colmos e 15 Mg ha⁻¹ de açúcar.

Pesquisa de longa duração (cinco ciclos de produção) conduzida por Scarpare et al (2016) na região de Jaú, verificou um acréscimo de 207 Mg ha⁻¹ de colmos para cana-de-açúcar cultivada no ambiente irrigado por gotejamento em comparação com a cana-de-açúcar no manejo de sequeiro. Esse acréscimo da produção dos cinco anos de cultivo, equivale a 2,8 ciclos de produção a mais para ambiente irrigado em relação ao ambiente de sequeiro, considerando a produtividade média (73,7 Mg ha⁻¹) dos canaviais brasileiro (CONAB, 2017).

A produtividade de cana-de-açúcar, esta correlacionada com vários parâmetros agronômicos, fisiológicos e nutricionais (THORBURN et al., 2003; DANTAS NETO et al., 2006; KÖLLN, 2012; DELLABIGLIA, 2016). Pesquisas feitas

por vários cientistas demonstraram que genótipos de cana-de-açúcar apresentam diferentes respostas devido à elevação da disponibilidade hídrica (RAMESH e MAHADEVASWAMY, 2000; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; GAVA et al., 2010; KÖLLN, 2012). Segundo Kölln (2012) a eficiência de utilização de água da cana-de-açúcar está relacionada com fatores fisiológicos como: capacidade de discriminação do isótopo estável ^{13}C pela enzima ribulose-1,5-bifosfato entre outros.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivos: i) Realizar a fenotipagem de genótipos de cana-de-açúcar, selecionando genótipos tolerantes a deficiência hídrica e responsivos a tecnologia de irrigação; ii) Utilizar parâmetros fisiológicos como condutância estomática, temperatura foliar e principalmente a técnica do fracionamento isotópico do ^{13}C para a prospecção de genótipos tolerância a deficiência hídrica e responsivos à irrigação; iii) Quantificar a produtividade líquida primária (fotossíntese líquida) por meio da acumulação da matéria seca e da extração dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg da parte aérea da cana-de-açúcar em dois manejos hídricos contrastantes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica da cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017), a área plantada para a safra 2016/17 foi de 9,1 milhões de hectares, 5,3% maior que a safra anterior (2015/16), a produção total de cana-de-açúcar destinada à indústria para a safra 2016/17 foi de 694,54 milhões de toneladas, com acréscimo de 4,4% (28,94 milhões de toneladas) em relação à safra 2015/16. A produtividade média estimada para a safra 2016/17 é de 73,7 Mg ha⁻¹.

O Estado de São Paulo é o maior produtor do país, representando aproximadamente 57% do total produzido (CONAB, 2017). O futuro, para esse segmento do agronegócio é de crescimento, principalmente devido ao aumento da frota nacional de carros bicompostíveis e do projeto de lei recém lançado pelo Governo Federal RenovaBio (MME, 2017) quem tem como objetivo introduzir ganhos de eficiência energética na produção e no consumo de biocompostíveis, para o incremento da política de descarbonização da matriz energética brasileira.

2.2 Análise quantitativa do crescimento da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à classe das monocotiledôneas, família poacea (gramínea) de ciclo semi-perene e alta rusticidade (DANIELS; ROACH, 1987). Atualmente, os genótipos comercializados de cana-de-açúcar são provenientes de cruzamentos entre duas cultivares já conhecidas (híbridos interespecíficos) do gênero *Saccharum*, proveniente do Sudeste da Ásia (STEDUTO et al., 2012). Adaptada a diversos ecossistemas, desenvolve-se nos trópicos e em regiões temperadas, encontrando-se atualmente dispersa em todos os continentes, sendo o Brasil o principal produtor mundial, seguido da Índia, China, Tailândia, Paquistão e México (MARQUES, 2009; FAO, 2013).

Trata-se de uma gramínea de metabolismo C₄, que possui uma alta atividade fotossintética; alta eficácia na utilização e resgate de CO₂ da atmosfera; se adapta à alta intensidade luminosa e temperaturas elevadas com relativa escassez de água, considerando que a cultura necessita de grandes quantidades de água para um ótimo desenvolvimento (SEGATO et al., 2006).

O crescimento da cana-de-açúcar, num sentido amplo, é determinado pelo aumento de massa material seco na parte aérea, também pelo aumento do diâmetro e altura do como (DILLEWIJN, 1952).

Segundo Bonnett (2014) o desenvolvimento da cana-de-açúcar é caracterizado por dez estádios fenológicos: i) germinação; ii) brotação; iii) perfilhamento; iv) alongação do colmo; v) desenvolvimento das partes colhíveis; vi) emergência da inflorescência; vii) florescimento; viii) desenvolvimento dos frutos; ix) amadurecimento das sementes e x) senescência. Entretanto para fins agronômicos e industriais, essas fases podem ser classificadas em quatro: brotação, perfilhamento, grande crescimento e maturação.

Já a curva hipotética de crescimento de plantas de cultivo anual, pode ser descrita em três estádios (MAGALHÃES, 1979 e GAVA et al., 2001). Para a cultura cana-de-açúcar, essas três fases podem ser classificadas em: i) fase inicial de crescimento lento; ii) fase intermediária de rápido crescimento e iii) fase final de crescimento lento, acumulando respectivamente 10; 80 e 10% de toda a matéria seca produzida (MACHADO, 1987; GAVA et al., 2001 e KÖLLN, 2012). Essas três fases graficamente, formam uma curva sigmoideal (BRZESOWSKY, 1986; ALVAREZ, 1998; GAVA et al., 2001 e KÖLLN, 2012).

Orlando Filho et al. (1980) estimaram a acumulação de matéria seca em cana soca em três solos do Estado de São Paulo, observando diferenças de acumulação para cada solo devido a possíveis diferenças edafoclimáticas. A evolução da massa seca apresentou um comportamento crescente até o 12º mês de idade. A acumulação de matéria seca das folhas manteve-se superior à de colmos até o 6º mês, tornando-se inferior a partir do 8º mês, até o término do ciclo aos 12 meses.

Alvarez (1998) comparou o desenvolvimento de soqueira de cana-de-açúcar com e sem despalha a fogo, em dois ciclos de crescimento, e verificou que a produção da parte aérea no primeiro ciclo de 339 dias foi respectivamente de 47 e 47 t ha⁻¹, e no segundo ciclo de 314 dias foi de 38 e 34 t ha⁻¹ de matéria seca, sendo que essas diferenças não foram significativas. Em adição, observou, ainda, que o desenvolvimento no primeiro ciclo de crescimento foi semelhante, nos dois manejos, e que no início do segundo ciclo, ocorreu maior desenvolvimento da cultura, em solo com a cobertura de palhada, enquanto que no final, o desenvolvimento foi maior na cana-de-açúcar sem a palhada.

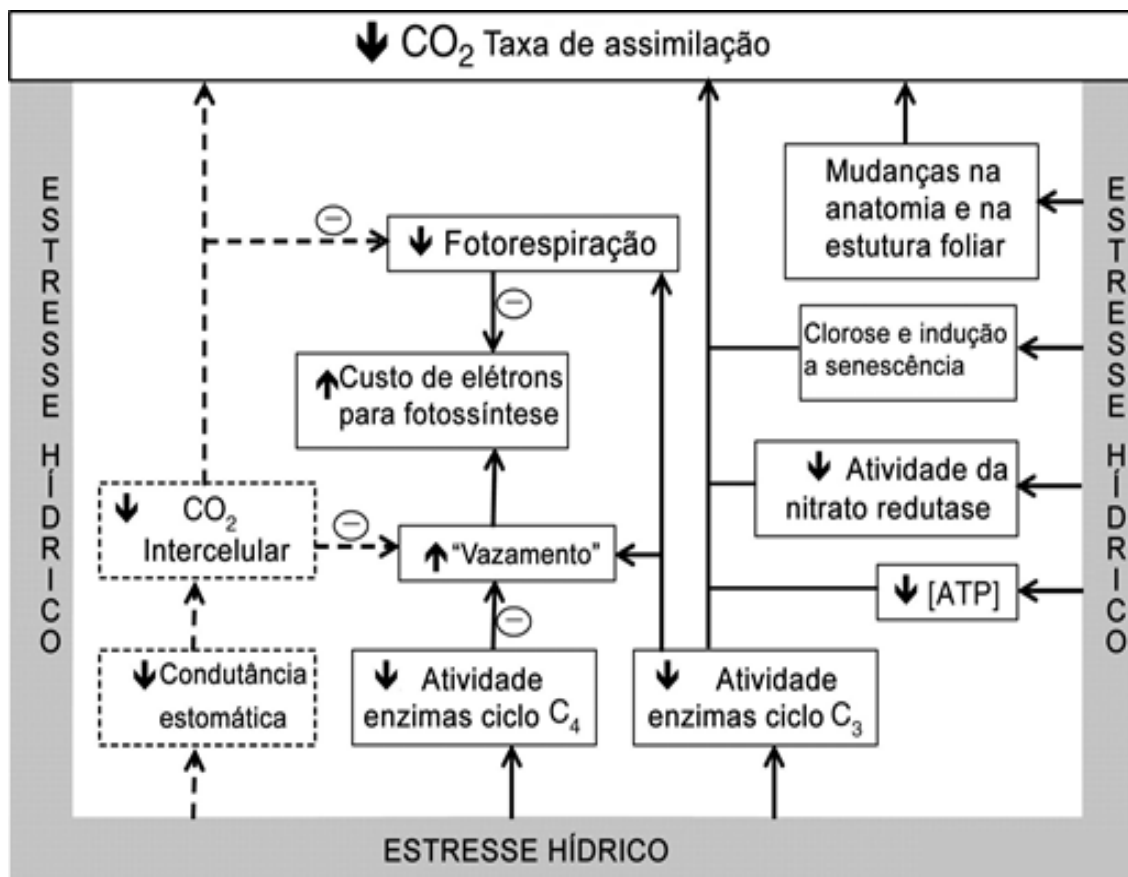
A análise de crescimento de um vegetal fundamenta-se na medida sequencial da acumulação da fitomassa e sua determinação é feita, considerando a matéria seca da planta (MAGALHÃES, 1979), sendo que os índices mais utilizados para análise são: índice de área foliar (IAF), taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de produção de matéria seca (TPMS), razão parte aérea/sistema radicular (RPA/SR), entre outros (MAGALHÃES, 1979; LUCCHESI, 1984; BEADLE, 1987).

2.3 Deficiência hídrica na cultura da cana-de-açúcar

A baixa disponibilidade hídrica para a planta afeta o crescimento celular, em que é considerado sensível a esse estresse, inibindo diretamente a divisão, alongamento e expansão celular (ZHU, 2001; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; SAUSEN, 2007).

A deficiência hídrica nas folhas de plantas do ciclo C₄ (Figura 1) reduz o índice de área foliar e o surgimento de novas folhas (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; SMIT e SINGELS, 2006; FARIAS et al., 2008). Também eleva a abscisão foliar, devido ao aumento da concentração de ácido abscísico na planta (KRAMER, 1983). Provoca a redução na produção de adenosina trifosfato (ATP) e a atividade da nitrato redutase, induzindo à clorose e senescência foliar precoce. Atua também na diminuição da condutância estomática e da concentração de CO₂ intercelular provocando elevação do “vazamento” (Φ) de CO₂ do mesofilo da bainha foliar (GHANNOUM, 2009). Tendo como principal consequência a diminuição da fixação de CO₂ (trocas gasosas) nas folhas. Reduzindo a produtividade líquida primária das plantas (matéria seca) (FARQUHAR et al., 1988; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; DELLABIGLIA, 2016).

Figura 1 – Resumo dos principais efeitos da deficiência hídrica das folhas de plantas de ciclo C₄



Fonte: Ghannoum, (2009).

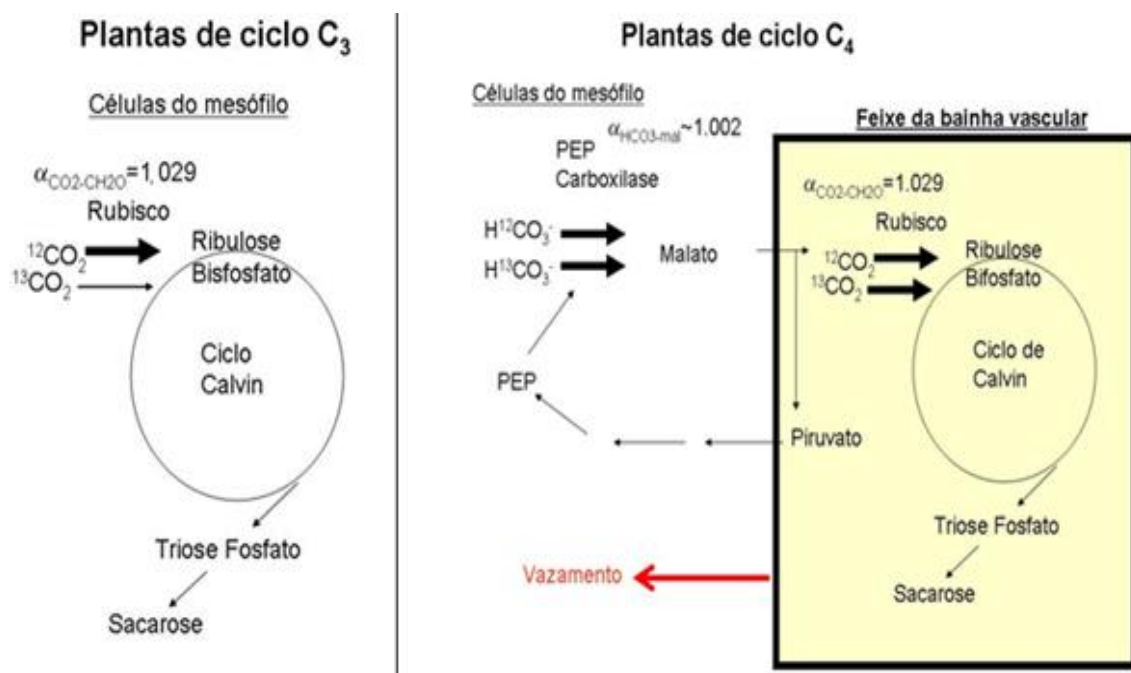
Assim, o manejo adequado da água na cultura de cana-de-açúcar, possui grande importância para a elevação da produtividade líquida primária (DANTAS NETO et al., 2006; GAVA et al., 2011; DELLABIGLIA, 2016; SCARPARE et al., 2016).

2.4 Fracionamento isotópico de ¹³C em plantas de ciclo C₄

Variações naturais dos isótopos de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$), ocorrem, pois, na natureza existem duas formas estáveis de carbono. Uma destas formas é mais rara o ¹³C (ocorrendo a uma percentagem de 1,1% do total de carbono existente no planeta). Já o isótopo de ¹²C, possui uma maior abundância na natureza, sendo ela de 98,9% (FARQUHAR et al, 1989).

No processo de fixação de carbono atmosférico pelas plantas (fotossíntese), as moléculas contendo isótopos mais leves ($^{12}\text{CO}_2$), são fixadas em maior quantidade comparando-se com as moléculas que possuem o isótopo mais denso $^{13}\text{CO}_2$ (Figura 2). A molécula de $^{12}\text{CO}_2$ difunde mais rapidamente do que $^{13}\text{CO}_2$ nas câmaras estomáticas, deixando um “registro histórico” do fracionamento isotópico de carbono que é fixado no tecido vegetal. Esse fracionamento, ou seja, esse “registro histórico” possui variações relacionadas com a abertura e fechamento das câmaras estomáticas que por sua vez estão relacionadas com as condições de ambiente, principalmente ligadas a deficiência hídrica (FARQUHAR et al, 1989).

Figura 2 – Representação esquemática do fracionamento isotópico de carbono na fotossíntese em plantas de ciclo C_3 e C_4



Fonte: Gava et al. (2010).

O $\Delta^{13}\text{C}$ em plantas de cana-de-açúcar (ciclo C_4) difere das plantas de ciclo C_3 (Figura 2), pois o CO_2 que é difundido no interior dos estômatos é primeiramente fixado na forma de HCO_3^- (ácido carboxílico) pela enzima fosfoenol piruvato-carboxilase (pepc). Em situações de estresse ambiental, o teor de HCO_3^- (transportado na forma de malato), que é liberado nos feixes da bainha vascular pode

ser perdido, causando o vazamento “leakiness” em vez de ser re-fixado pela rubisco (FARQUHAR et al, 1989; HENDERSON et al., 1992). Portanto o modelo conceitual do fracionamento isotópico do carbono em plantas de ciclo C₄ é representado pela equação (01), desenvolvida por Henderson et al. (1992):

$$\Delta = a + [b_4 + \Phi (b_3 - s) - a] p_i/p_a \quad (1)$$

Em que:

a) significa fracionamento na difusão do CO₂ atmosférico pelo estômato valor de 4,4‰; b₃) é o fracionamento que ocorre na carboxilação da rubisco, valor de 29‰; b₄) significa o fracionamento durante a dissolução e conversão para HCO₃⁻, e fixação pela pepc valor de -5,7‰; s) é o fracionamento de CO₂ que volta para o feixe da bainha e difunde para o mesófilo foliar valor de 1,8 ‰; Φ) é o “vazamento” de CO₂ do feixe da bainha e p_i/p_a) é a razão da pressão de CO₂ da câmara estomática e do ambiente.

Correlação de Δ¹³C com a produção de matéria seca, foram constatadas em sorgo (HAMMER et al., 1997), em milho (BRÜCK et al., 2000). Correlação negativa entre o rendimento de grãos e do Δ¹³C, foi verificado por Hubick et al. (1990). Na cultura de cana-de-açúcar e na do milho, foram verificadas maiores produtividades, associadas com a redução do Δ¹³C, em folhas (SALIENDRA et al., 1996; MONNEVEUX et al., 2007).

No Brasil, pesquisa realizada por Kölln (2012), objetivando estudar o efeito da deficiência hídrica sobre o fracionamento isotópico ¹³C, no genótipo SP80-3280, constatou que em ambiente com restrição hídrica (sequeiro) a produtividade de colmos foi de 77,9 Mg ha⁻¹ com um Δ¹³C de 4,86 ‰, em compensação, no ambiente com menor restrição hídrica (irrigado) a produtividade de colmo foi de 100,2 Mg ha⁻¹ com um Δ¹³C de 4,52 ‰.

A técnica do fracionamento isotópico de carbono em plantas de ciclo C₄, pode ser utilizada para fenotipagem de genótipos tolerantes ao estresse hídrico (SALIENDRA et al., 1996; MONNEVEUX et al., 2007).

2.5 Tecnologia de irrigação em cana-de-açúcar e produtividade

Os manejos de irrigação têm sido empregados, como tecnologias buscando ganhos de rendimento na cana-de-açúcar em comparação com o manejo de sequeiro (GAVA et al., 2011; KÖLLN, 2012).

Segundo Carretero (1982), constatou-se que na área com irrigação por gotejamento, a cultura da cana-de-açúcar obteve um acréscimo de 16% em comparação com cana não irrigada, levando à um ganho de rendimento da ordem de 20 Mg ha⁻¹ na soqueira de cana-de-açúcar, na região de Piracicaba, SP. Wiedenfeld (1995), utilizou o genótipo CP 65-357 em três lâminas de água, baixa: 65%, intermediária: 85% e alta: 95%, entre essas lâminas ocorreu diferenças significativas na colheita sendo essa produtividade de 70 Mg ha⁻¹, 89 Mg ha⁻¹ e 120 Mg ha⁻¹, respectivamente, concluindo que a maior lâmina de água resultou em uma maior produtividade.

Souza et al. (1999) estudando os genótipos RB72454, SP79-1011 e RB76418 e utilizando irrigação por aspersão (autopropelido), observou que para as lâminas de 1568; 1589 e 1424 mm obtiveram uma produção de 155,8 Mg ha⁻¹, 141,9 Mg ha⁻¹ e 126,9 Mg ha⁻¹ respectivamente. Gomes (1999) utilizou uma lâmina de 1.195 mm no genótipo RB72454 e obteve uma média de 130 Mg ha⁻¹ de colmos e 17 Mg ha⁻¹ de açúcar.

Maule et al. (2001) utilizou o genótipo SP79-1011 para o cultivo em três períodos sendo eles: 14; 17 e 19 meses, respectivamente, para as seguintes precipitações totais: 1.478; 1.695 e 1.829 mm. tendo uma produtividade média de 149; 154 e 170 Mg ha⁻¹ de colmos. Gava et al. (2011), avaliaram três genótipos de cana-de-açúcar RB867515, RB855536 e SP80-3280, e verificaram um aumento médio de 24% na produção de colmos e de 23% na produção de açúcar, do manejo irrigado por gotejamento para o não irrigado (sequeiro).

2.6 Fenotipagem de genótipos de cana-de-açúcar tolerantes a deficiência e responsivas a irrigação

Machado et al. (2009), utilizou os genótipos IACSP 96-2042 e IACSP 94-2094, realizaram avaliações de condutância estomática para compreender a deficiência hídrica em três fases diferentes do desenvolvimento da cana-de-açúcar,

suspendendo a irrigação nos períodos entre 73 à 114 dias após o plantio (DAP), 171 à 184 DAP e 287 à 300 DAP. Esses pesquisadores constataram que independente da fase fenológica, o genótipo IACSP 94-2094 foi tolerante a deficiência hídrica, pois produziu maior biomassa seca, devido a menor redução das trocas gasosas.

Guimarães (2011), estudou vinte e um genótipos de cana-de-açúcar, dentre elas possuía genótipos já conhecidos na literatura como tolerantes (SP83-5073 e SP93-2847) e genótipos menos tolerantes (SP90-1638 e SP90-3414). Esta pesquisadora, constatou que o conteúdo relativo de clorofila estimado por meio do SPAD, foi influenciado pelos ambientes com e “sem” deficiência hídrica. Concluindo que esta técnica serviu para diferenciar os genótipos de cana-de-açúcar sensíveis e tolerantes a deficiência hídrica. Pincelli (2010), averiguou que diferenças na produção de matéria seca da parte aérea foram causadas pelo estresse hídrico, esses resultados variaram para os diferentes genótipos estudados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área, tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi desenvolvido na Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), na Unidade de Pesquisa Hélio de Moraes, Jaú – SP (UPHM-Jaú), localizada na latitude 22° 17' S, longitude 48° 34' O e altitude média de 580 m, em relação ao oceano. O clima da região foi classificado como Aw segundo Köppen, média pluviométrica de 1.300 mm, com distribuição irregular e clima seco definido. O solo da área foi classificado como Latossolo vermelho (EMBRAPA, 2006), com características de fertilidade do solo, como mostra a Tabela 1 e 2 e com textura média/argilosa de 2.73g cm como pode-se observar na Tabela 3.

Tabela 1 - Análise química de macronutrientes do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm

Prof - cm	pH	M.O.	P _{resina}	S	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				
0 - 20	5,5*	15	28	10	0	24	0,7	21	13	60	59
20 - 40	4,2	11	23	50	5	56	0,2	11	5	73	23
40 - 60	4,1	10	14	49	6	63	0,2	15	5	83	24

*Análise realizada segundo metodologia de Raij (2001).

Tabela 2 - Análises químicas de micronutrientes do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm

Prof - cm	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³				
0 - 20	0,18	2,9	17	14,0	1,3
20 - 40	0,30	3,1	15	13,1	0,7
40 - 60	0,27	2,6	11	11,5	0,6

*Análise realizada segundo metodologia de Raij (2001).

Tabela 3 - Análise física do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm

Prof - cm	Areia	Silte	Argila	Textura
	g kg ⁻¹			
0 - 20	638	90	272	Média
20 - 40	552	80	368	Argilosa
40 - 60	531	79	390	Argilosa

**análise realizada segundo metodologia da EMBRAPA, (1997).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições constituídos pela combinação de quatro genótipos de cana-de-açúcar e dois manejos da cultura: manejo de irrigação por gotejamento subterrâneo (I) e manejo de sequeiro (S). Sendo 8 (oito) tratamentos e 4 (quatro) repetições, totalizando 32 (trinta e duas) parcelas.

As parcelas foram formadas a partir de cinco sulcos com 16 m de comprimento, e linhas duplas (ou em "W"), espaçadas com 1,80 m entre elas. Cada parcela experimental foi dividida em duas subparcelas, uma para determinação do acúmulo de biomassa e nutrientes e outra para determinação da produtividade final e qualidade da matéria prima. A área de cada subparcela foi de 72 m² (9 m largura x 8 m comprimento) e foi composta de 5 linhas duplas (sulcos).

Na Figura 4 observa-se a casa de abrigo do conjunto moto bomba, o lago para a irrigação, os registros e os tambores para a diluição dos fertilizantes utilizados na fertirrigação.

Nos tratamentos irrigados o tubo gotejador instalado era do modelo DripNet PC TM, com vazão de 1,0 L h⁻¹; pressão de serviço (PS) 3,0bar, com gotejadores espaçados à 0,5 m, da empresa Netafim®. Os tubos gotejadores foram instalados no campo à 0,2 m de profundidade, no meio da linha dupla, junto com a operação de sulcação da área.

O experimento foi realizado no período entre 07 de outubro de 2015 e 07 de novembro de 2016 tendo uma duração de 397 dias após o corte (DAC).

Todos os tratamentos receberam uma dose de 210 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) e 140 kg ha⁻¹ de K₂O. Como fonte de potássio foi utilizado o cloreto de potássio

branco. Para a adubação de N-fertilizante foi utilizado ureia. Nos tratamentos irrigados a aplicação de N e K_2O foi realizada ao longo do crescimento da cultura via fertirrigação, como apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Porcentagem de aplicação dos fertilizantes durante o experimento (2015/2016), nos manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento (fertirrigação)

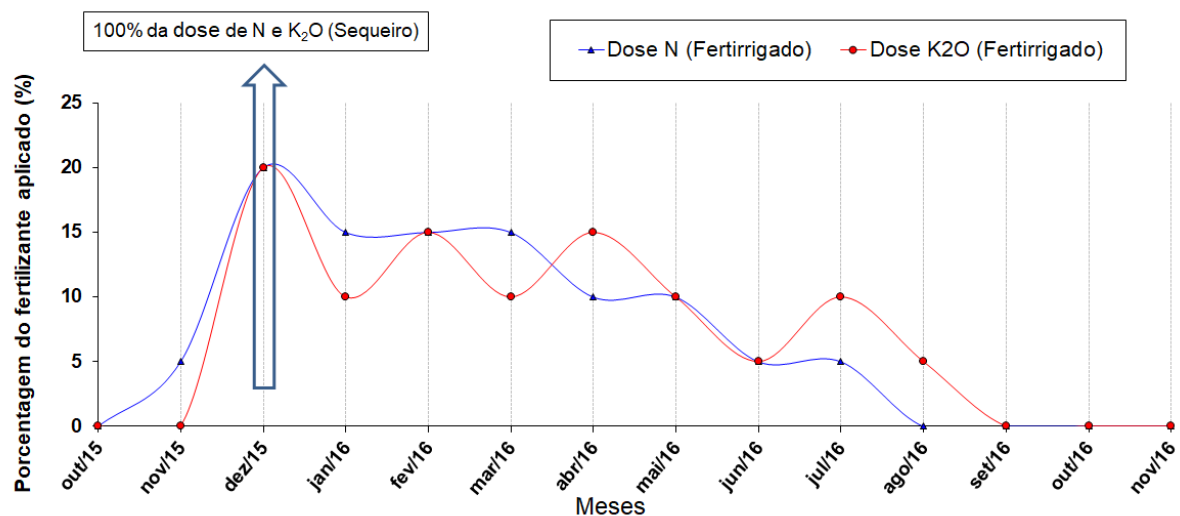


Figura 4 – (A) Casa de abrigo do conjunto moto bomba, registros e tanque de água, equipamentos já existentes no local. (B) Tambores para diluição do fertilizante utilizado na fertirrigação

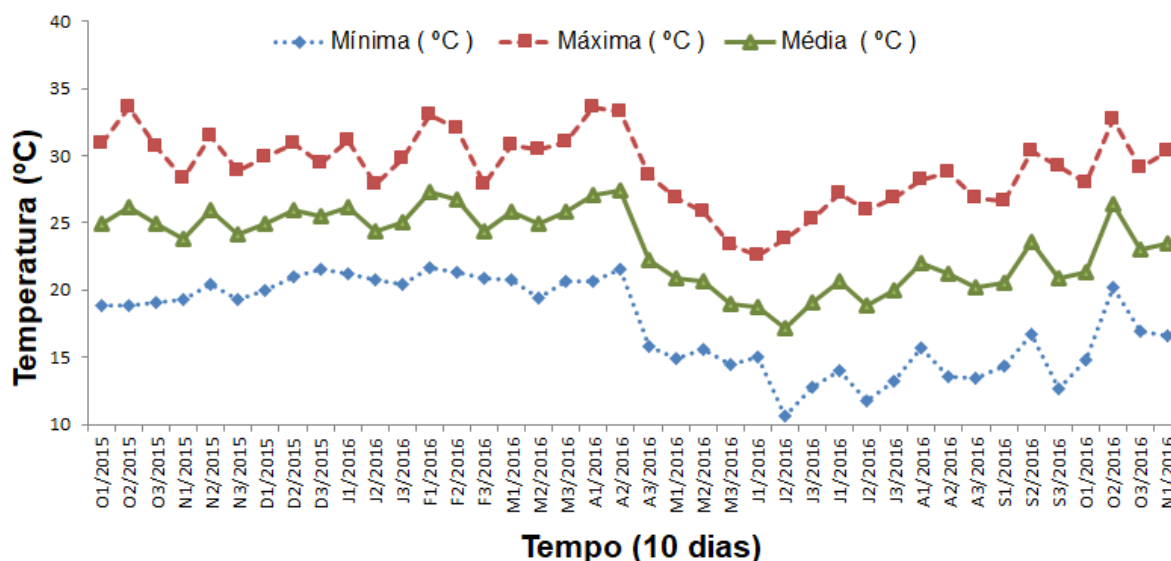


Foi aplicado 100% da ureia e do cloreto de potássio para os tratamentos não irrigados aos 60 dias depois do corte da soqueira (DAC). Para evitar as possíveis perdas de N por volatilização, na aplicação de N e K₂O abriu-se discretos sulcos laterais à linha de plantio com enxada, o que auxiliou o fechamento desses sulcos e consequentemente evitou perda de N.

3.2 Condições ambientais e manejo da irrigação

Durante o experimento verificou-se que a temperatura média anual máxima foi de 29,03°C e a mínima de 17,53°C, tornando o ambiente favorável e propício ao desenvolvimento da cultura (Figura 5).

Figura 5 – Temperatura mínima, máxima e média durante a realização do experimento



A precipitação total ocorrida no ciclo da cultura foi de 1.555,0 mm, a lâmina aplicada via irrigação ao longo de todo o experimento foi de 491,5 mm. Assim correspondendo a totalidade da evapotranspiração da cultura (ETC). A Irrigação foi realizada, contabilizando-se o suprimento de água ao solo, pela precipitação (P), e a demanda atmosférica pela evapotranspiração da cana-de-açúcar (ETC). Para o ambiente irrigado o resultado obtido de ETC igual a 1.401,8 mm, já para o ambiente

não irrigado o resultado foi de 1.127,9 mm; considerando uma capacidade de água disponível do solo (CAD) de 70 mm.

Desse modo foi estimado o balanço hídrico a cada decêndio e calculada a deficiência hídrica (DEF), tanto para o tratamento irrigado com 26,5 mm, quanto para o tratamento não irrigado com 300,4 mm. A deficiência hídrica calculada para esse período foi de 326,9 mm.

A irrigação foi realizada pelo cálculo da evapotranspiração segundo Penman-Monteith (HOWELL; EVETT, 2004) e multiplicando pelo coeficiente da cultura (K_c), assim obtendo uma lâmina de água em mm com aproximadamente 100% da evapotranspiração da cultura como descrito por Gava et al. (2011) e posteriormente por Dellabiglia (2016), Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Balanço hídrico durante a realização do experimento out15/nov16 para o manejo irrigado

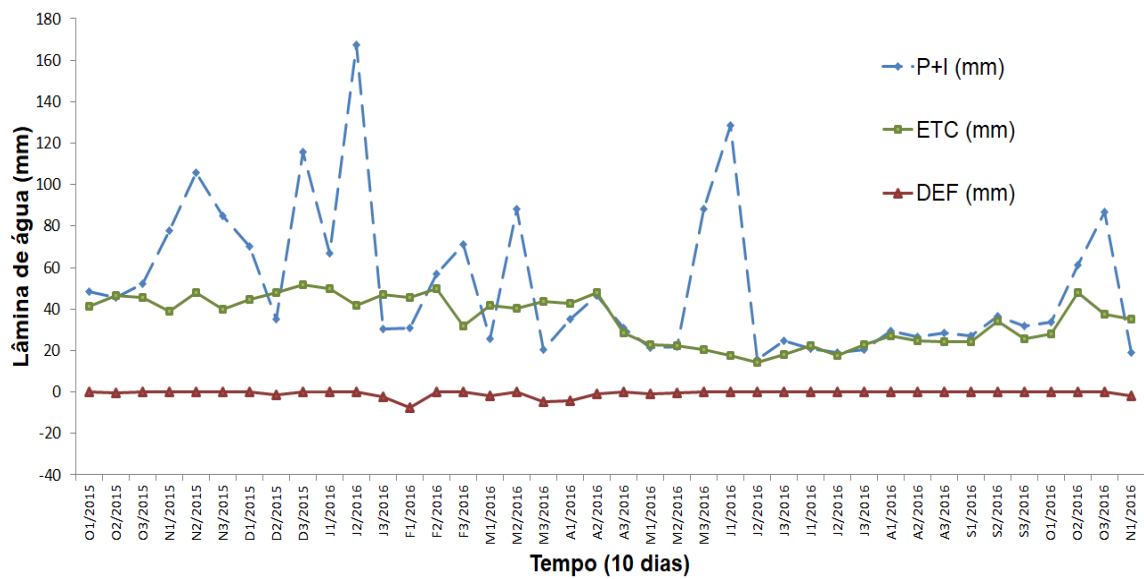
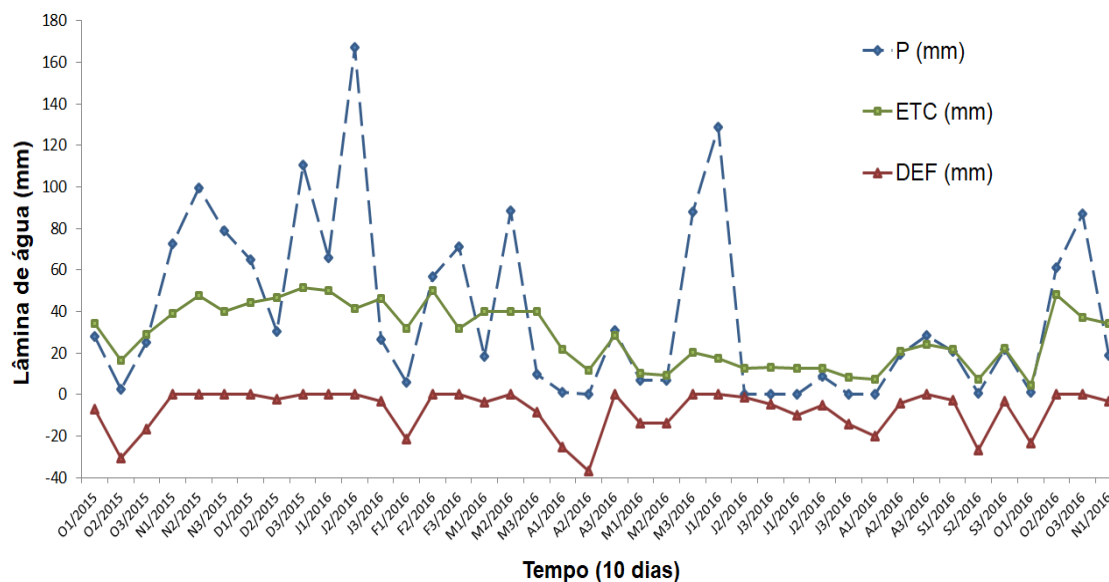


Figura 7 – Balanço Hídrico durante a realização do experimento out15/nov16 para o manejo sem irrigação (sequeiro)



3.3 Características do material genético utilizado

Quatro genótipos de cana-de-açúcar foram utilizados, sendo elas: RB867515, SP801842, CTC 6, RB92579.

i) RB867515 cultivar de ciclo tardio (julho a setembro), crescimento ereto e de fácil despalha, boa capacidade de brotação, de média produtividade, tolerante a seca (RIDESA, 2010);

ii) SP801842 cultivar de ciclo médio a tardio (julho a setembro), média brotação, exigente em solos de elevada fertilidade e tolerante a seca (EMBRAPA, 2007);

iii) CTC6 cultivar de ciclo tardio (agosto a novembro), boa brotação, exigentes em solos de elevada fertilidade, potencial de elevada produtividade (CTC, 2012);

iv) RB92579 cultivar de ciclo tardio (outubro a dezembro), crescimento semiereto, ótima capacidade de brotação, elevada produtividade, altamente responsiva a irrigação (RIDESA, 2010).

3.4 Análises

As análises fisiológicas, de acúmulo de matéria seca, e nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) foram feitas ao longo do desenvolvimento da soqueira de cana-de-açúcar, na safra 2015/2016, em quatro fases fenológicas distintas, nos períodos de: 117 (01 de fevereiro de 2016); 236 (30 de maio de 2016); 347 (18 de setembro de 2016) e 393 (03 de novembro de 2016), dias após o corte da soqueira anterior (DAC). A determinação do delta de carbono foi realizada em três épocas 236; 347 e 393 DAC.

3.4.1 Análises fisiológicas

As variáveis fisiológicas determinadas na planta de cana-de-açúcar no período experimental estão descritas nos subitens a seguir.

3.4.1.1 Teor relativo de clorofila aparente (SPAD)

Foram coletadas ao longo do experimento 15 folhas +3 (terceira folha apical completamente expandida) por parcela e levadas para o laboratório, repetindo isso para as 4 épocas de avaliação, para fazer a análise de teor de clorofila. A estimativa do conteúdo de clorofila foi determinada com uso de um clorofilômetro (SPAD-502) como pode ver na Figura 8.

Figura 8 – Clorofilômetro, SPAD-502, leitura em folha +3 de cana-de-açúcar



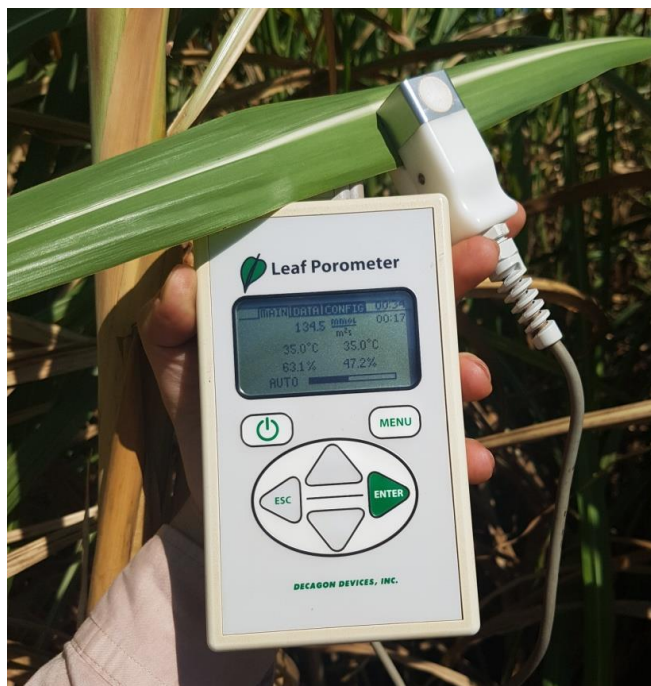
3.4.1.2 Índice de área foliar (IAF)

Para analisar o parâmetro de índice de área foliar (IAF), foi utilizado um ceptômetro modelo LP-80. As leituras em cada parcela foram realizadas às 14 horas abaixo do dossel foliar, rente ao solo, nas épocas de avaliações após a implantação dos tratamentos. O IAF foi determinado com a diferença da leitura de PAR a cima e a baixo do dossel.

3.4.1.3 Condutância estomática

A condutância estomática e a temperatura foliar foram obtidas por meio do aparelho Leaf Porometer (Decagon Devices) (Figura 9). Utilizou-se 10 plantas por parcela, as leituras foram realizadas no período da manhã antes das 10 horas, tomadas na porção mediana da folha +1 (primeira folha apical completamente expandida).

Figura 9 – Porômetro, leitura em folha +1 de cana-de-açúcar



3.4.1.4 Temperatura foliar

Os valores de temperatura foliar foram obtidos por meio do aparelho porômetro (Leaf Porometer - Decagon Devices). Os valores de temperatura foram obtidos simultaneamente às leituras de condutância estomática, utilizando-se a mesma região mediana da folha +1, realizadas no período da manhã antes das 10h.

3.4.1.5 Determinação do fracionamento isotópico de ^{13}C

Coletou-se folha +3 (terceira folha com a lígula totalmente aparente) para a determinação do isótopo de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$). As coletas dessas folhas sempre foram realizadas no período da manhã de preferência as 9 horas da manhã, sendo retiradas 15 lâminas foliares por parcela.

Essas amostras foram levadas ao laboratório, para a retirada da nervura central e a separação de 20 cm da região mediana das folhas. Em seguida as amostras foram colocadas em sacos de papel, sendo posteriormente submetidas a secagem em estufa de circulação forçada de ar. Após secas, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey (Tecnal) e bem acondicionados em fracos plásticos com tampas de pressão, para evitar a entrada de umidade. Em seguida, a composição isotópica de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$) das amostras de folha +3 de cana-de-açúcar foram quantificadas em espectrômetro de massas, modelo ANCA-SL Hydra 20-20 SERCON Co., Crewe, GBR (Figura 10), no Laboratório de Isótopos Estáveis CENA-USP, Piracicaba.

A equação utilizada para a determinação da razão isotópica de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, ($\Delta^{13}\text{C}$) das amostras, é descrita na equação (1), proposta por Barrie e Prosser (1996).

$$^{13}\text{C} = \{[(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{amostra}} / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{padrão}}] - 1\} * 1000 \quad (2)$$

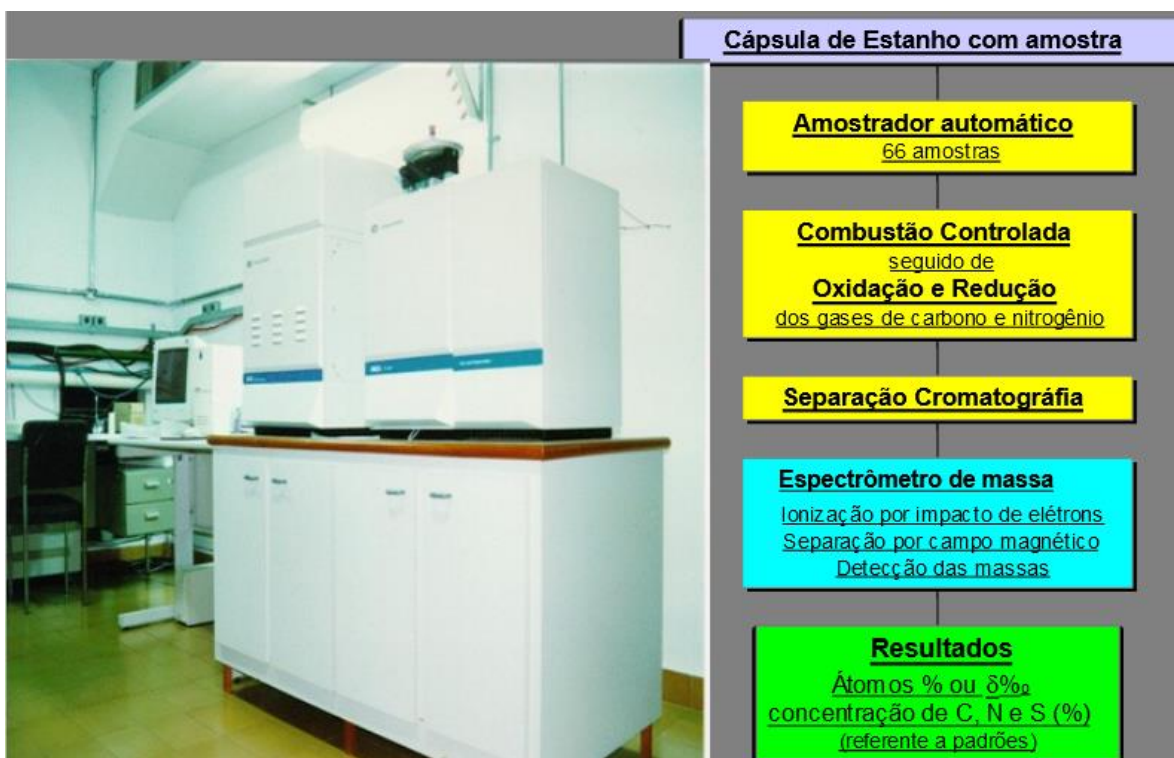
em que:

$\Delta^{13}\text{C}$, significa o valor relativo, permil, da razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da amostra comparada com a razão do padrão (CRAIG, 1957)

$(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{amostra}}$, significa razão isotópica da amostra;

($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) padrão, significa razão isotópica de Pee-Dee Belemnite (PDB), carbonato de cálcio de fóssil marinho, valor igual a 0,0112375.

Figura 10 – Espectrômetro de massas, modelo ANCA-SL Hydra 20-20 SERCON



Para a obtenção dos valores de fracionamento dos isótopos de carbono: $\Delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$ utilizou-se a equação (2) descrita por Farquhar, (1983) e Henderson et al. (1992).

$$\Delta^{13}\text{C} \text{ ‰} = (\Delta^{13}\text{C}_a + \Delta^{13}\text{C}_p) / (1 + (\Delta^{13}\text{C}_p/1000)) \quad (3)$$

Em que:

$\Delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$, fracionamento dos isótopos de carbono;

$\Delta^{13}\text{C}_a$, composição isotópica do ar atmosférico quantificada $-8,0 \pm 0,01 \text{ ‰}$;

$\Delta^{13}\text{C}_p$, composição isotópica das plantas (folha +3) de cana-de-açúcar.

3.5 Acúmulo de matéria seca e de nutrientes

Amostragens sequenciais do acúmulo de matéria seca e quantificação dos nutrientes foram realizadas ao longo do experimento, em quatro épocas diferentes, 117; 236; 347 e 393 DAC

Para essas análises foram colhidos dois metros lineares da parte aérea da cana-de-açúcar. Em um local coberto, localizado na estação UPHM-Jaú, o material colhido foi separado em colmos, folhas secas e ponteiros (folhas verdes e palmitos). Uma amostra foi triturada separadamente em picadora de forragem, onde foi retirada uma subamostra e colocada em sacos de papel, pesadas e colocadas em uma estufa com ventilação forçada a 65°C até massa constante, então determinou-se a massa de matéria seca das três partes da planta.

Após a secagem em estufa, as subamostras foram moídas em moinhos de facas tipo Willey (Tecnal), acondicionadas em frascos de acrílico 23 ml e enviadas ao Laboratório Athenas – Jaboticabal, para análise dos teores de nutrientes N; P; K; Ca; Mg (g.kg^{-1}), segundo Malavolta et al. (1997).

Figura 11 – (A) Amostragem sequencial de colmos, folhas secas e ponteiros (folhas verdes e palmitos). (B) determinação da massa fresca das amostras

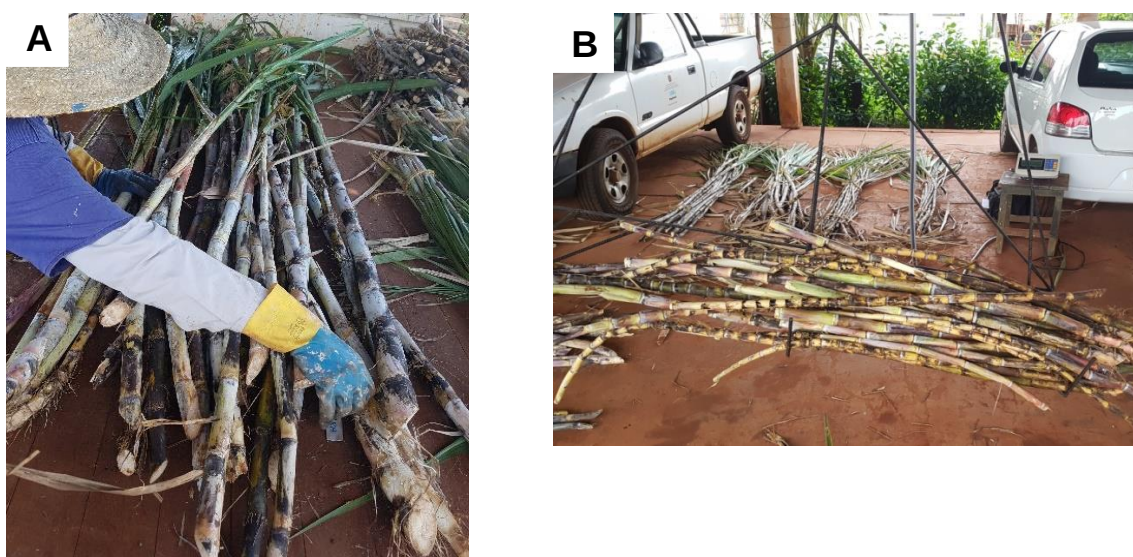
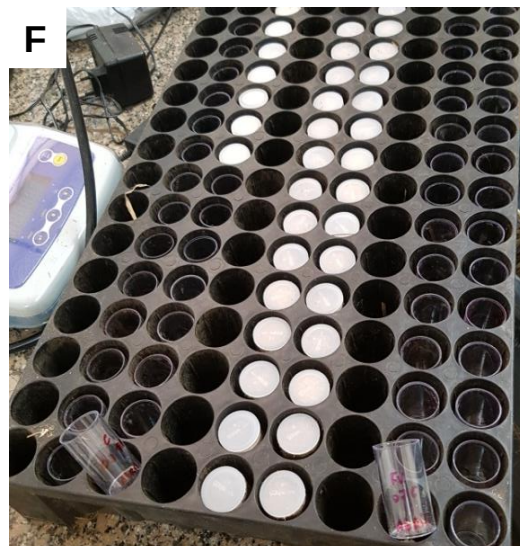


Figura 12 – (C) Amostras de colmos, folhas secas e ponteiros sendo trituradas para a homogeneização do material. (D) Subamostras de material fresco sendo encaminhados para estufa de ventilação forçada à 65 °C para a determinação da matéria seca



Com a massa seca de cada compartimento da planta multiplicou os teores dos nutrientes em cada subamostra pela biomassa produzida em cada tratamento (Mg ha^{-1}) obteve-se o acúmulo de nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar durante as 4 épocas de coleta da cana-de-açúcar.

Figura 13 – (E) Moagem das subamostras de colmos, folhas secas e ponteiros. (F) acondicionamento das subamostras moídas de material seco nos frascos de acrílico para a determinação do teor de nutrientes: N; P; K; Ca; Mg



Para estimar o acúmulo de massa seca, e a marcha de absorção de nutrientes da parte aérea da cana-de-açúcar:

$$Y = \{Y_{\max} / [1 + \exp -B * (DAC - X_0)]\} \quad (4)$$

Em que:

Y = acúmulo máximo de biomassa ou a extração máxima de nutrientes, compreendida entre o corte da cana e a colheita;

Y_{max} = acúmulo máximo de biomassa ou a extração máxima de nutrientes, compreendida entre o corte da cana-planta;

DAC: dias após o corte da cana-planta;

B = parâmetro de ajuste;

X₀ = ponto de inflexão

As constantes X₀ e B da função são estimadas segundo Zullo e Arruda, (1987). Assim, foram obtidas equações que descreveram a variação, no tempo, da massa seca da parte aérea e da extração dos nutrientes da soqueira de cana-de-açúcar a partir do primeiro dia até os 393 dias após a colheita (DAC).

Os índices fisiológicos utilizados para avaliar possíveis diferenças entre os tratamentos foram a taxa de produção de matéria seca (TPMS), a taxa de acúmulo de nutrientes obtidos pela manipulação das funções de ajuste, segundo modelo descrito por Lucchesi (1984).

3.6 Produtividade final e qualidade da matéria prima

Antes da colheita final foram coletados 10 colmos por parcela, a fim de quantificar a qualidade tecnológica de cada tratamento. As amostras de colmo foram trituradas no picador de forragem e analisadas no laboratório de tecnologia da Associação dos Produtores de cana-de-açúcar de Jaú - SP (ASSOCICANA), para a determinação dos seguintes resultados: pol% da cana (PCC), Fibra (%), Brix (%), pureza do caldo (PUR) e açúcar total recuperável (ATR), de acordo com o método da prensa hidráulica (Fernandes, 2003).

Na colheita final determinou a produtividade de colmos (TCH) (Mg ha^{-1}) e de açúcar (TPH) (Mg ha^{-1}), foram colhidos manualmente cada subparcela (5 linhas de 8 metros) pesadas com célula de carga para a determinação da produtividade. Com esses resultados, considerando a existência de 5.556m lineares de cana-de-açúcar em um hectare, foram estimados a produção de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) em Mg ha^{-1} .

3.7 Análise estatística dos resultados

Os efeitos dos tratamentos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F, ao nível de 95% de confiança. Posteriormente para as causas de variação significativas foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o programa SISVAR 5.3. Para estimar o acúmulo de matéria seca e nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar foram ajustadas regressões não-lineares em função do tempo (DAC). Como critérios para escolha dos modelos de regressão, foram selecionados aqueles que apresentaram maiores coeficientes de determinação (R^2) e significância dos parâmetros da regressão até 5% de probabilidade pelo teste t.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliações fisiológicas

4.1.1 Teor relativo de clorofila aparente (SPAD)

Na Tabela 4 observa-se o teor relativo de clorofila aparente (índice SPAD), apresentaram diferenças significativas entre os manejos exceto na primeira época (F-Manejo). Para os genótipos, apenas a época de 236 DAC observou-se diferenças significativas entre os genótipos (F-Genótipos). Em nenhum período ocorreu interação significativa dos manejos com os genótipos (F-M x G).

Tabela 4 - Análise do teor relativo de clorofila aparente (SPAD), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Manejo	Genótipos	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
-----Índice SPAD -----											
Sequeiro	RB867515	42,65	a	36,17	a	34,82	a	32,42	a	36,52	a
Sequeiro	SP-801842	44,98	a	36,68	a	33,66	a	31,87	a	36,80	a
Sequeiro	CTC6	43,75	a	37,61	a	36,09	a	31,73	a	37,29	a
Sequeiro	RB92579	43,75	a	34,63	a	35,32	a	30,82	a	36,13	a
Irrigado	RB867515	42,39	a	37,45	a	36,04	a	34,10	a	37,49	a
Irrigado	SP-801842	44,12	a	38,07	a	37,14	a	34,96	a	38,57	a
Irrigado	CTC6	43,27	a	41,59	a	39,06	a	35,46	a	39,84	a
Irrigado	RB92579	44,12	a	37,64	a	35,75	a	36,83	a	38,58	a
Manejo (S)		43,47	A	36,27	A	34,97	A	31,71	A	36,68	A
Manejo (I)		43,78	A	38,69	B	36,99	B	35,34	B	38,62	B
M Geral		43,62		37,48		35,98		33,52		37,65	
F Genótipo		1,83		3,77*		2,68		0,10		3,41*	
F Manejo		0,24		9,78*		9,80*		22,41*		28,62*	
F M x G		0,17		0,72		1,23		1,39		1,00	
CV (%)		4,08		5,83		5,09		6,47		2,73	

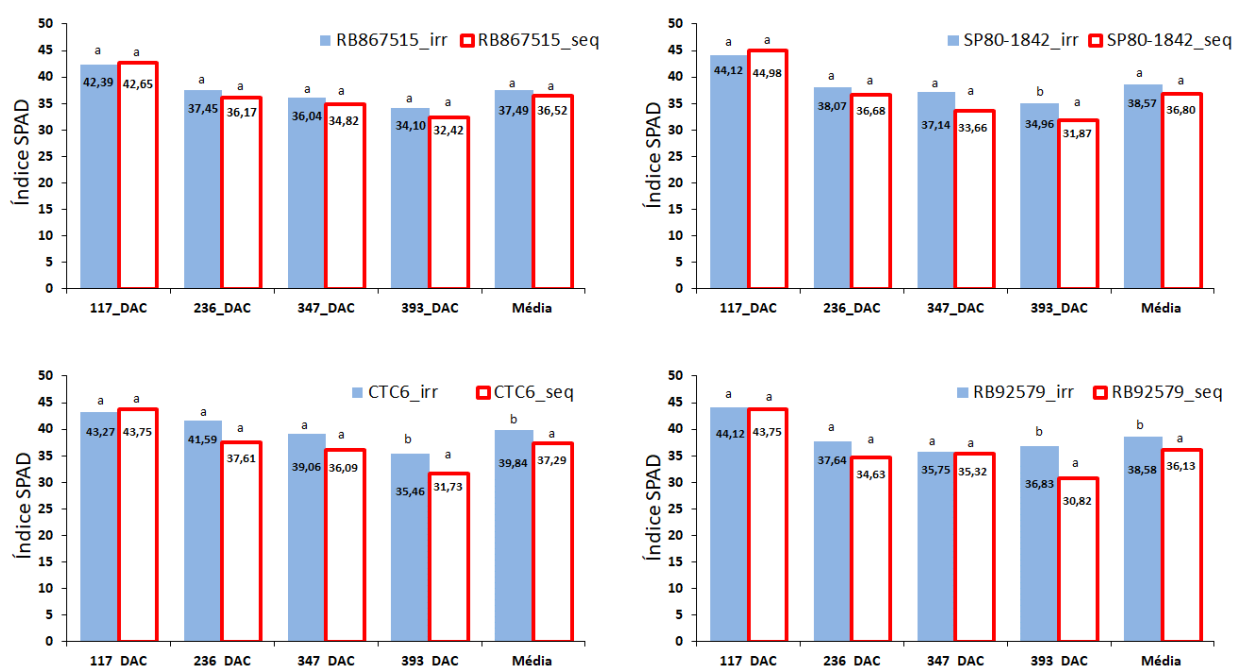
Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

O “histórico” das avaliações dos teores relativos de clorofila aparente representado pela média dos quatro períodos amostrados (Média**) demonstrou diferença significativa no manejo (F-Manejo) e nos genótipos (F-Genótipo). Verifica-

se, assim que o índice SPAD sofreu uma maior influência do manejo e uma menor dos genótipos estudados.

A média dos valores para o teor relativo de clorofila aparente nas épocas de 117; 236; 347 e 393 DAC para o manejo de sequeiro foram de: 43; 36; 35 e 32, enquanto que para o manejo irrigado foram de 44; 39; 37 e 35. Verifica-se que com avanço do ciclo de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, ocorreu uma diluição do valor do índice SPAD, resultado semelhante ao deste trabalho foi constatado por Kölln (2012); Silva et. Al (2012); Geronimo (2014); Dellabiglia (2016).

Figura 14 – Evolução do teor relativo de clorofila aparente (SPAD), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%. Média significa: a média desta variável, nos quatro períodos avaliados.

Os resultados de índice SPAD na folha +3 (Tabela 4 e Figura 14) em função do tempo (DAC) decresceram, demonstrando diminuição na estimativa do conteúdo de clorofila das folhas (JANGPROMMA et al. 2010) e também do teor de N na planta (Tabela 4) em todos os tratamentos. Esse fato ocorre devido ao efeito da diluição do N na planta com a evolução de seu crescimento, pois a taxa de produção

de matéria seca é maior que a taxa de acúmulo de N (KÖLLN, 2012; OLIVEIRA et al., 2013; DELLABIGLIA, 2016). Resultados semelhantes aos deste trabalho foram obtidos também por Wood et al. (1996) em cana planta e em soqueira com dois genótipos na Austrália (Q117 e Q138).

Na Figura 14 verifica-se que nas três primeiras avaliações (117; 236 e 347 DAC) não ocorreram diferenças significativas entre os índices SPAD em todos os genótipos estudadas, nos manejos: irrigado e sequeiro. Entretanto no último período (393 DAC) verificou-se diferenças significativas para os genótipos SP80-1842, CTC6 e RB92579. A média dos quatro períodos avaliados (117; 236; 347 e 393 DAC) confirmam diferenças significativas para os genótipos CTC6 e RB92579 e não significativas para os genótipos RB867515 e SP80-1842. Pincelli (2010) utilizou o índice SPAD para selecionar genótipos de cana-de-açúcar tolerantes a deficiência hídrica, sua pesquisa Pincelli (2010), encontrou dois genótipos tolerantes: SP81-3250 e SP83-2847 com um índice SPAD médio de 50 para os ambientes: sem e com deficiência hídrica. E dois genótipos não tolerantes RB855453 e RB722454 com um índice SPAD médio de 50 para o ambiente com pouca deficiência hídrica e o índice SPAD médio de 25 para os ambientes com deficiência hídrica.

A oxidação (destruição) da clorofila é uma das consequências da deficiência hídrica, que resulta na perda da coloração verde das folhas (SILVA et al., 2012; JANGPROMMA et al., 2010). Assim essa técnica pode ser utilizada para Fenotipagem de plantas tolerantes a deficiência hídrica, embora as diferenças entres os tratamentos não foram tão significativos.

4.1.2 Índice de área foliar (IAF)

Na Tabela 5 observa-se o índice de área foliar (IAF), apresentando apenas na primeira amostragem (117 DAC) diferenças significativas entre os genótipos (F- Genótipos). Para o manejo (F-Manejo), contatou diferença significativa na segunda e na quarta amostra (236 e 393 DAC). Na interação entres manejos e genótipos (F-M x G) não ocorreu diferença significativa em nenhuma época.

A média (Média**) dos períodos para cada genótipo ao longo das quatro épocas amostradas (117, 236, 347 e 393 DAC) apresentou diferença significativa para os genótipos (F-Genótipos). manejos (F-Manejo) e para a interação manejo com o genótipo (F-M x G).

A média do índice de área foliar nas quatro amostragens (117, 236, 347 e 393DAC) para o manejo de sequeiro foram de: 3; 5; 8 e 7, e no irrigado foram de: 3; 6; 8 e 8. Com esses dados conseguiu se observar que com o passar do tempo o índice de área foliar (IAF) culminou aos 347 dias, porém para a última amostragem em sequeiro ela teve uma diminuição devido a deficiência hídrica, já no manejo irrigado teve um decréscimo menor o índice de área foliar. Ramesh (2000) consta que passada a fase de crescimento da cultura da cana-de-açúcar, ocorre uma diminuição na produção de folhas verdes.

Tabela 5 - Índice de área foliar (IAF), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

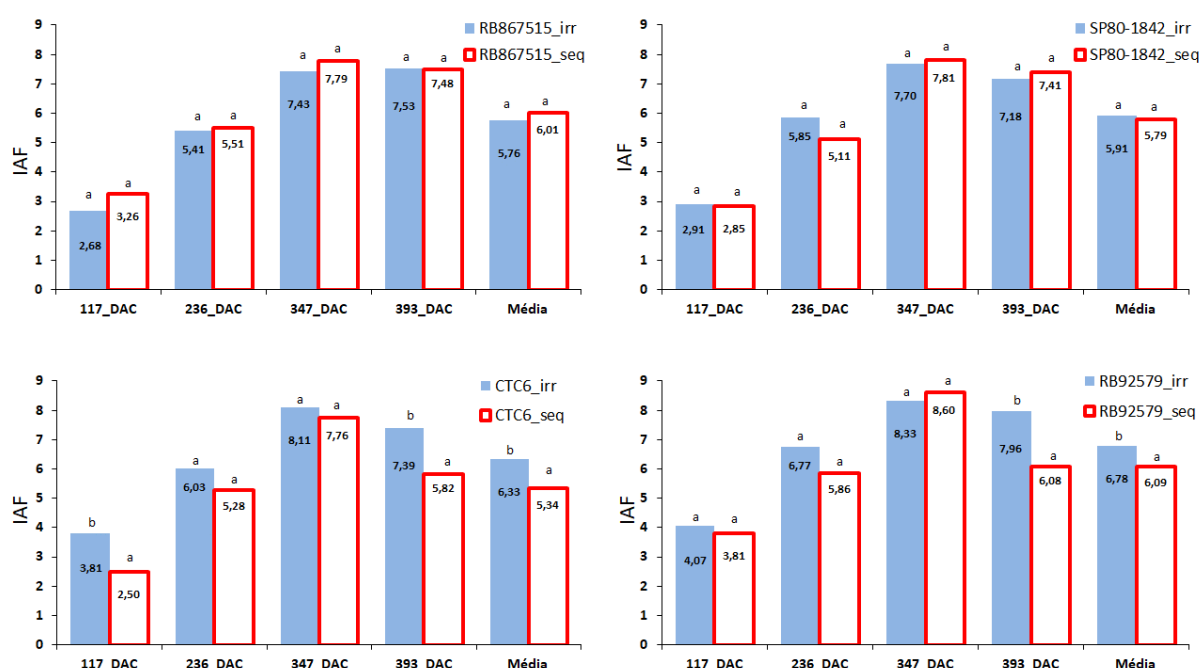
Manejo	Genótipo	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
----- IAF -----											
Sequeiro	RB867515	3,26	a	5,51	a	7,79	a	7,48	a	6,01	ab
Sequeiro	SP-801842	2,85	a	5,11	a	7,81	a	7,41	a	5,79	ab
Sequeiro	CTC6	2,5	a	5,28	a	7,76	a	5,82	a	5,34	a
Sequeiro	RB92579	3,81	a	5,86	a	8,60	a	6,08	a	6,09	b
Irrigado	RB867515	2,68	a	5,41	a	7,43	a	7,53	a	5,76	a
Irrigado	SP-801842	2,91	ab	5,85	a	7,70	a	7,18	a	5,91	ab
Irrigado	CTC6	3,81	ab	6,03	a	8,11	a	7,39	a	6,33	ab
Irrigado	RB92579	4,07	b	6,77	a	8,33	a	7,96	a	6,78	b
Manejo (S)		3,10	A	5,44	A	7,89	A	6,69	A	5,81	A
Manejo (I)		3,37	A	6,01	B	7,99	A	7,51	B	6,17	B
M Geral		3,24		5,73		7,94		7,10		6,00	
F Genótipo		3,91*		2,54		1,37		1,54		4,36*	
F Manejo		1,16		5,15*		0,09		6,82*		7,92*	
F M x G		2,58		0,81		0,24		2,88		4,06*	
CV (%)		21,30		12,46		11,42		12,47		6,51	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

Resultados de índice de área foliar como estes (Tabela 5 e Figura 15) foi encontrado por Oliveira (2007) onde ele usou três genótipos e fez 9 coletas de dados, mostrando que a cultura chegou a um ápice aos 377 dias após o plantio (DAP) e que os cultivares RB855113 e RB72545 apresentaram maior número de folhas verdes. Os cultivares considerados não tolerantes a irrigação (CTC6 e RB92579) em ambiente

sequeiro observou uma menor área folia na terceira amostragem (347 DAC), em compensação genótipos que são considerados tolerantes a deficiência hídrica (RB867515 e SP80-1842) conseguiram manter uma área foliar maior.

Figura 15 – Evolução do índice de área foliar (IAF), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Na Figura 15 os genótipos RB867515 e SP80-1842 não ocorreu diferença significativa para nenhum dos períodos amostrados (117, 236, 347 e 393 DAC) mostrando que esses dois genótipos são tolerantes a deficiência hídrica ocorrida na área. Para o genótipo CTC6 aos 117 e 393 DAC teve diferença significativa onde em ambiente irrigado obteve uma maior área foliar em relação ao sequeiro. O genótipo SP80-1842 pode-se observar apenas na última avaliação aos 393 DAC a diferença entre o manejo irrigado e sequeiro. Observou-se também que para os quatro genótipos, o ápice de área foliar foi no mês de setembro (347 DAC), para Gomide e Gomide (1999) essa redução no índice de área foliar se dá pela razão da idade avançada das folhas, aliado ao aumento da atividade respiratória.

4.1.3 Condutância estomática

Na Tabela 6 observa-se a condutância estomática (gs), apresentou-se diferenças significativas dos manejos (F-Manejo) em todas as épocas: 117, 236, 347 e 393 (DAC). Para os genótipos, nenhuma época observou-se diferença significativa entre os genótipos (F-Genótipos). Aos 117 e 393 DAC ocorreu interação significativa dos manejos com os genótipos (F-M x G).

Tabela 6 - Condutância estomática (gs), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Manejo	Genótipos	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
----- mmol m ⁻² s ⁻¹ -----											
Sequeiro	RB867515	246,2	b	132,2	a	183	a	160,9	a	180,5	b
Sequeiro	SP-801842	239,2	ab	149,7	a	178,1	a	154,7	a	180,4	b
Sequeiro	CTC6	156,1	a	111,2	a	150,8	a	125,5	a	135,9	a
Sequeiro	RB92579	194,5	ab	110,6	a	165,2	a	132,7	a	150,7	ab
Irrigado	RB867515	267,4	a	136,7	a	205,8	a	248,9	ab	214,7	a
Irrigado	SP-801842	286,8	a	150,7	a	212,7	a	200,6	a	212,7	a
Irrigado	CTC6	374,6	b	196,5	a	251,8	a	303,8	b	281,7	b
Irrigado	RB92579	297,3	a	160,5	a	227,2	a	321,1	b	251,5	ab
Manejo (S)		208,99 A		125,91 A		169,26 A		143,45 A		161,91 A	
Manejo (I)		306,54 B		161,09 B		224,39 B		268,56 B		240,15 B	
M Geral		257,77		143,50		196,82		206,01		201,03	
F Genótipos		0,38		1,01		0,09		2,83		0,48	
F Manejo		47,74*		15,58*		28,04*		100,86*		95,57*	
F M x G		9,61*		4,10		2,78		7,78*		11,87*	
CV (%)		15,49		19,55		14,96		17,10		11,26	

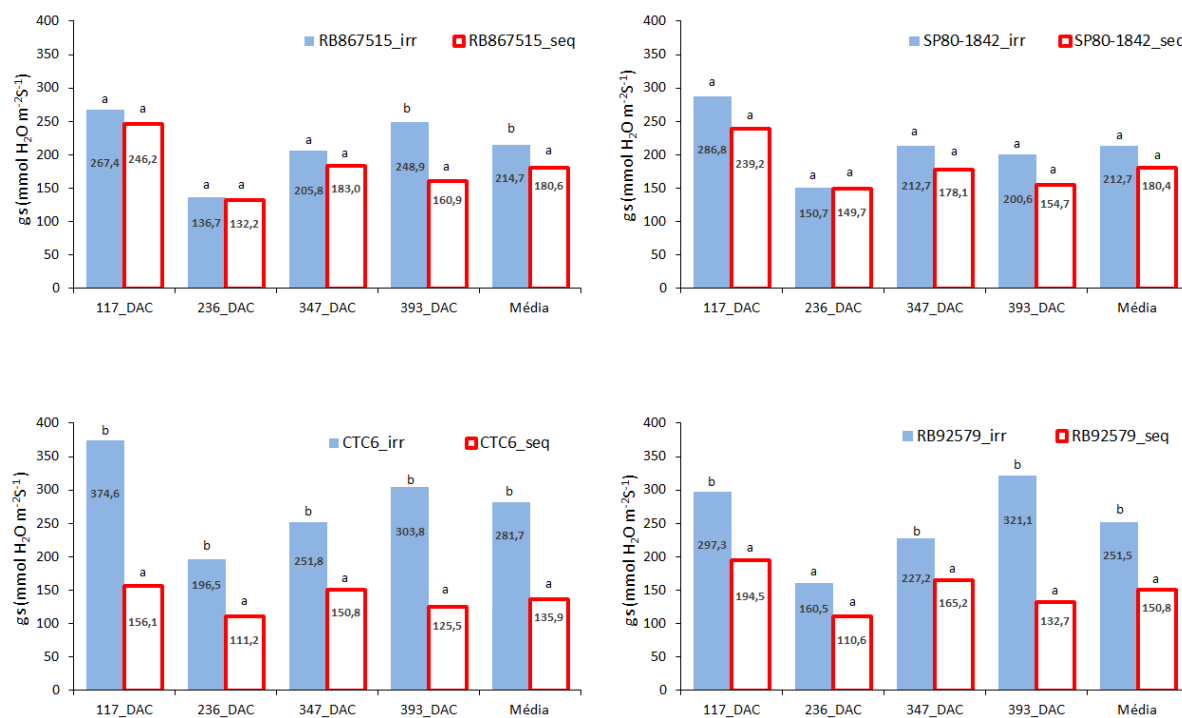
Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

Levando em consideração a médias dos quatro períodos amostrados (Média**) comprovou-se a diferença significativa nos manejos (F-Manejo) e na interação dos manejos com os genótipos (F-M x G). Verificando que ocorreu uma maior influência da condutância estomática (gs) dos manejos do que entre os genótipos.

A média dos valores de condutância estomática nas 4 épocas amostradas para o manejo sequeiro foram de: 209; 126; 169 e 143 ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), enquanto que para o manejo irrigado foram de: 307; 161; 224 e 269 ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Verificou que ao longo do experimento, no ambiente “sequeiro” ocorreu uma diminuição no valor da condutância estomática ao longo das amostragens, porém no manejo irrigado teve uma queda brusca entre a primeira e a segunda amostragem (117 e 236 DAC) e nos 347 e 393 DAC teve um aumento dos valores em relação a segunda amostragem (236 DAC).

Resultados parecidos foram encontrados em outro trabalho, onde ocorre a redução da condutância estomática na cultura de cana-de-açúcar sob o estresse hídrico (GRAÇA et al., 2010; PINCELLI, 2010; GERONIMO, 2014). O fechamento dos estômatos é um mecanismo de defesa da planta, e tem por objetivo reduzir a perda de água, porém como consequência reduz também a assimilação de CO_2 (PIMENTEL, 2004).

Figura 16 – Evolução da condutância estomática (gs), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Na Figura 16 comparando genótipo em manejos de: sequeiro e irrigado, verificou-se que no genótipo SP80-1842 não mostrou diferença significativa em nenhum dos períodos amostrados. Para o genótipo RB867515 verificou-se diferença somente aos 393 (DAC), para a RB92579 não ocorreu diferença significativa apenas aos 236 (DAC), mas no genótipo CTC6 ocorreu diferença significativa entre todos os períodos amostrados. A média dos quatro períodos (117; 236 e 347 DAC) confirmam diferenças significativas para os genótipos RB867515, CTC6 e RB92579 e não significativas para os genótipos e SP80-1842.

Em cana-de-açúcar que possui variação genotípicas apresentam algumas características de tolerância a deficiência hídrica (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Silva et al. (2012) verificou que a redução da condutância estomática foi menor em genótipos considerados tolerantes, sugerindo que seja um mecanismo fisiológico responsável pela tolerância a seca.

4.1.4 Temperatura foliar

Na Tabela 7 encontra-se a temperatura foliar ($T^{\circ}\text{C}$), em todas as épocas verificou-se diferenças significativas nos manejos (F-Manejo). Para os genótipos, não houve diferenças significativas entre os genótipos. Na interação de manejos com os genótipos (F-M x G), observou-se significativo para as épocas 117, 236 e 393 (DAC), apenas na terceira avaliação (347 DAC) não obteve diferença significativa na temperatura foliar.

Sabendo “histórico” das avaliações das temperaturas representado pela média dos quatro períodos amostrados (Média**) demonstrou diferença significativa no manejo (F-Manejo) e não significativo nos genótipos (F-genótipo). Mostrou significância para a interação de manejos e genótipos (F- M x G). Observou-se uma maior diferença de temperatura foliar entres os manejos, não houve diferença entre os genótipos avaliados.

Tabela 7 - Temperatura foliar (°C), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Manejo	Genótipos	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
-----T°C-----											
Sequeiro	RB867515	32,30	bc	21,50	a	30,90	a	31,50	a	29,04	ab
Sequeiro	SP-801842	30,10	a	21,06	a	31,23	a	32,30	a	28,67	a
Sequeiro	CTC6	33,05	c	22,85	a	32,83	a	33,08	a	30,45	c
Sequeiro	RB92579	30,86	ab	22,40	a	32,58	a	33,48	a	29,83	bc
Irrigado	RB867515	28,65	a	21,58	a	29,78	a	30,63	ab	27,66	ab
Irrigado	SP-801842	29,36	a	21,43	a	30,18	a	31,70	b	28,17	b
Irrigado	CTC6	28,41	a	19,45	a	29,10	a	29,45	a	26,60	a
Irrigado	RB92579	29,16	a	19,25	a	29,86	a	28,93	a	26,80	a
Manejo (S)		31,57 B		21,95 B		31,88 B		32,59 B		29,49 B	
Manejo (I)		28,8 A		20,43 A		29,73 A		30,17 A		27,31 A	
M Geral		30,232		21,19		30,80		31,38		28,40	
F Genótipos		1,57		0,55		0,48		1,09		0,19	
F Manejo		55,89*		15,02*		15,83*		36,62*		107,73*	
F M x G		6,16*		6,63*		1,44		6,05*		12,94*	
CV (%)		3,34		5,25		4,97		3,6		2,10	

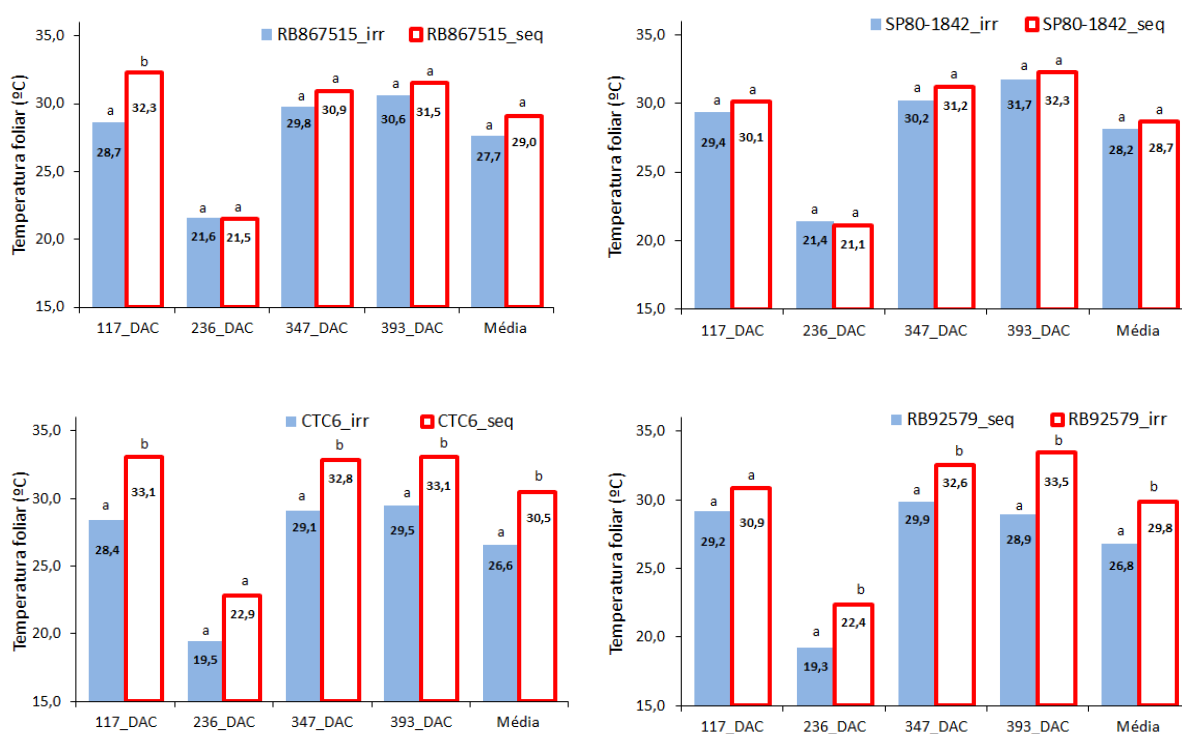
Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

As médias dos valores para a temperatura foliar nas épocas 117, 236, 347 e 393 DAC para o manejo de sequeiro foram de: 32; 22; 32 e 33, enquanto que no manejo irrigado foram de: 29; 20; 30 e 30. Ocorreu diferenças significativas entre os manejos: irrigado e sequeiro, em todas as épocas avaliadas. A diferença variou de 2 a 3 °C a mais do manejo irrigado para o sequeiro, mesmo na quarta avaliação aos 393 DAC onde a irrigação foi interrompida trinta dias antes. Com o aumento da temperatura foliar, provavelmente causado pelo estresse hídrico, ocorre uma menor transpiração, assim fechando os estômatos que é a possível causa do aumentando a temperatura (LUQUET et al., 2003; TAIZ; ZEIGER, 2009; ARAÚJO et al., 2010; COSTA et al., 2013).

Silva et al. (2014) encontrou resultados semelhantes, em que verificou na temperatura foliar um aumento médio de 3°C, em cana-de-açúcar com deficiência hídrica. Alguns autores conseguiram associar a redução na produtividade de cana-de-

açúcar com o aumento na temperatura foliar e a deficiência hídrica (Silva et al., 2007; SANTOS, 2013).

Figura 17 – Evolução da temperatura foliar (°C), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Na Figura 17 em relação ao genótipo RB867515 ocorreu diferença significativa apenas ao 117 DAC, aos 236, 347 e 393 DAC não ocorreu diferença significativa. Para o genótipo SP80-1842 em nenhum dos períodos obteve diferença significativa pelo teste tukey à 5%. Já na CTC6 ocorreu diferença significativa aos 117, 347, 393 DAC, mas no segundo período (236 DAC) não foi significativo. Para o genótipo RB92579 no primeiro período (117 DAC) não obteve diferença estatística, porém aos 236, 347 e 393 DAC teve diferença estatística. O “histórico” mostra que para os genótipos RB867515 e SP80-1842 estatisticamente não tem diferença significativa, porém para os genótipos CTC6 e RB92579 possuem diferença estatística. Nos genótipos considerados tolerantes, ocorreu uma menor variação entre

os manejos irrigado e sequeiro, podendo ser atribuído ao maior status hídrico foliar permitindo que os estômatos permanecessem por mais tempo aberto, resfriando atrás da respiração (BRUNELLI, 2014).

Resultados encontrados em outros trabalhos mostram que a temperatura foliar é uma variável não-destrutiva eficiente não uso para diferenciação de genótipos tolerantes ou não a deficiência hídrica (LUQUET et al., 2003; JONES, 2004; PINCELLI, 2010; DELLABIGLIA, 2016).

4.1.5 Fracionamento isotópico de carbono

Na Tabela 8 verifica-se que o fracionamento isotópico de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$), apresentou diferenças significativas em todas as épocas dos manejos (F-manejo), porém entres os genótipos (F- Genótipos) não ocorreram diferenças em nenhuma época amostrada. A interação de manejos com os genótipos (F- M x G), não ocorreu diferença significativa do fracionamento isotópico apenas na última época (393 DAC).

A média das avaliações do fracionamento isotópico ($\Delta^{13}\text{C}$) representado pela média dos quatro períodos amostrados (Média**) demonstrou diferença significativa no manejo (F-Manejo) e na interação dos manejos com os genótipos (F-M x G). Verifica-se, assim que o fracionamento isotópico foi alterado significativamente para o manejo e não foi alterado para os genótipos estudados.

A deficiência hídrica aumentou significativamente o fracionamento isotópico de ^{13}C na folha +3 ($\Delta^{13}\text{C}$) da cana-de-açúcar nos manejos em todos as épocas amostradas (Tabela 8), em média verifica-se que os valores do manejo de sequeiro (elevada deficiência hídrica) foram de: 5,999; 6,739 e 5,956 ‰, e os resultados do manejo irrigado (baixa deficiência hídrica) foram de: 5,470; 6,194 e 5,476 ‰, respectivamente para os períodos de 236; 347 e 393 DAC.

Resultados semelhantes ao deste trabalho, foram constatados para genótipos de cana-de-açúcar cultivados em diferentes regimes de irrigação por Saliendra et al. (1996). Neste trabalho foi verificado que os genótipos de cana-de-açúcar considerados: tolerante (H78-7234) e sensível (H73-6110) a deficiência hídrica, apresentaram valores de $\Delta^{13}\text{C}$ de 4,2 e 4,8 ‰ para um ambiente com deficiência hídrica e valores de $\Delta^{13}\text{C}$ de 3,7 e 3,9 ‰ para um ambiente sem restrição hídrica. Meinzer et. al. (1994) também verificaram alterações significativas no ^{13}C Δ em folhas +3, em dois genótipos de cana-de-açúcar, uma sensível (H65-7052) e o

outra considerado tolerante (H69-8235) a solução salina (estresse salino). Estes autores observaram que os dois genótipos de cana-de-açúcar descritos no parágrafo anterior, elevaram o $^{13}\text{C}\Delta$ de forma diferenciada, quando as plantas foram expostas a solução salina com diferentes concentrações, simulando condições de deficiência hídrica.

Tabela 8 - Fracionamento isotópico de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Manejo	Genótipo	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
		$\Delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$							
Sequeiro	RB867515	5,555	a	6,021	a	5,851	a	5,809	a
Sequeiro	SP-801842	5,871	ab	6,006	a	5,931	a	5,936	ab
Sequeiro	CTC6	6,374	b	6,519	b	6,052	a	6,315	c
Sequeiro	RB92579	6,196	b	6,231	ab	5,992	a	6,140	bc
Irrigado	RB867515	5,463	a	5,896	b	5,542	a	5,634	a
Irrigado	SP-801842	5,545	a	5,807	ab	5,593	a	5,648	a
Irrigado	CTC6	5,338	a	5,512	a	5,366	a	5,405	a
Irrigado	RB92579	5,535	a	5,742	ab	5,405	a	5,560	a
Manejo (S)		5,999 B		6,739 B		5,956 B		6,049 B	
Manejo (I)		5,470 A		6,194 A		5,476 A		5,562 A	
M Geral		5,734		5,967		5,716		5,806	
F Genótipo		2,732		0,884		0,185		2,361	
F Manejo		27,502*		85,172*		44,802*		138,439*	
F M x G		4,149*		16,479*		1,679		15,699*	
CV (%)		4,97		2,34		3,55		2,02	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

O fracionamento isotópico de ^{13}C , também elevou com o aumento da deficiência hídrica em sorgo (HAMMER et al., 1997; WILLIAMS, et al., 2001), milho (BRÜCK et al., 2000), milho (DERCON et al., 2006; PANSACK et al., 2007) bem como para algumas gramíneas de ciclo C_4 (FARQUHAR, 1983; BUCHMANN et al., 1996).

A elevação do $\Delta^{13}\text{C}$ nos genótipos de cana-de-açúcar, em condições de deficiência hídrica, ocorreu neste trabalho, devido a um aumento do gradiente das

pressões parciais de CO₂ do espaço intercelular e da atmosfera (p_i/p_a), juntamente com a elevação da permeabilidade do vazamento (“leakiness”) de ¹³CO₂ das células da bainha (Φ) (FARQUHAR, 1983; SALIENDRA, 1996; MEINZER et al. 1994).

Plantas de cana-de-açúcar expostas a condições de estresse ambiental elevaram o $\Delta^{13}\text{C}$ e reduziram a taxa de assimilação e de condutância estomática das folhas provocando um decréscimo da capacidade fotossintética da planta resultando em queda de produtividade de matéria seca (MEINZER et al. 1994; SALIENDRA 1996).

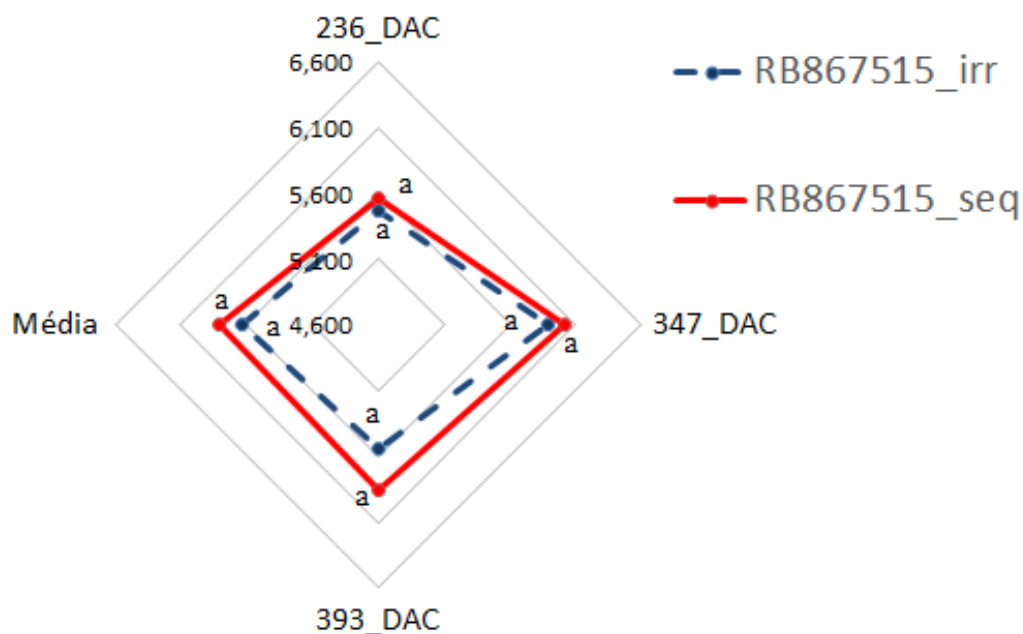
Verifica-se neste estudo, que ocorreram diferenças do $\Delta^{13}\text{C}$ nas folhas das plantas, expostas ou não à deficiência hídrica, esta variação também foi constatada em outros trabalhos (SALIENDRA, 1996; DERCON et al., 2006; MONNEVEUX et al 2007). Em plantas de ciclo C₄, a elevada concentração de CO₂ no mesofilo foliar pode diminuir o mecanismo de discriminação da Rubisco. Assim, ocorre uma menor variação do $\Delta^{13}\text{C}$, dificultando o processo de seleção de genótipos tolerantes a deficiência hídrica, (SALIENDRA, 1996; DERCON et al., 2006; MONNEVEUX et al 2007). Outro fato que pode prejudicar a interpretação dos resultados é quando se utiliza o $\Delta^{13}\text{C}$ para selecionar plantas tolerantes a deficiência hídrica, que a assinatura isotópica se constitui um indicador de estresse ambiental que pode ser por deficiência hídrica, (SALIENDRA, 1996) como por nitrogênio (MEINZER, 1998), ou fósforo (BRÜCK, 2000) entre outros.

O fracionamento isotópico de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$) em folhas de plantas de ciclo C₄ constitui-se em um indicador de estresse ambiental que pode monitorar e identificar plantas em condições de déficit hídrico (MEINZER; ZHU, 1998; CLAY et al., 2001a; 2001b; FRAVOLINIL et al., 2002; SMELTEKOP et al., 2002).

Segundo Farquhar e Lloyd (1993) a amplitude do fracionamento de ¹³C, que ocorre em plantas dos ciclos C₃ e C₄, pode ser considerado como um índice do tempo em que as plantas permaneceram em estresse. A fim de compreender por que o $\Delta^{13}\text{C}$ fornece este índice de estresse, algumas informações prévias devem ser analisadas. Como o tipo de planta a ser estudada, sua condutância estomática, capacidade de produção, e a demanda de água em um ciclo de produção (CLAY et al., 2001a, 2001b).

Na Figura 18 não ocorreu diferença significativa entre as épocas avaliadas (236; 347 e 393 DAC). O valor médio das três épocas para o genótipo RB867515 no manejo com deficiência hídrica (sequeiro) foi de: 5,809 ‰ ($\Delta^{13}\text{C}$) e no manejo sem deficiência hídrica (irrigado) foi de 5,634 ‰ ($\Delta^{13}\text{C}$). Verificou que mesmo com uma diferença não significativa entre os valores do fracionamento isotópico, ocorreu uma diminuição no acúmulo de matéria seca de: 34,6 (Mg ha^{-1}) para o manejo irrigado para 29,1 (Mg ha^{-1}), para o manejo de sequeiro, tendo um decréscimo de 5,5 (Mg ha^{-1}).

Figura 18 – Fracionamento isotópico ($\Delta^{13}\text{C}$ ‰), do genótipo RB867515; nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos

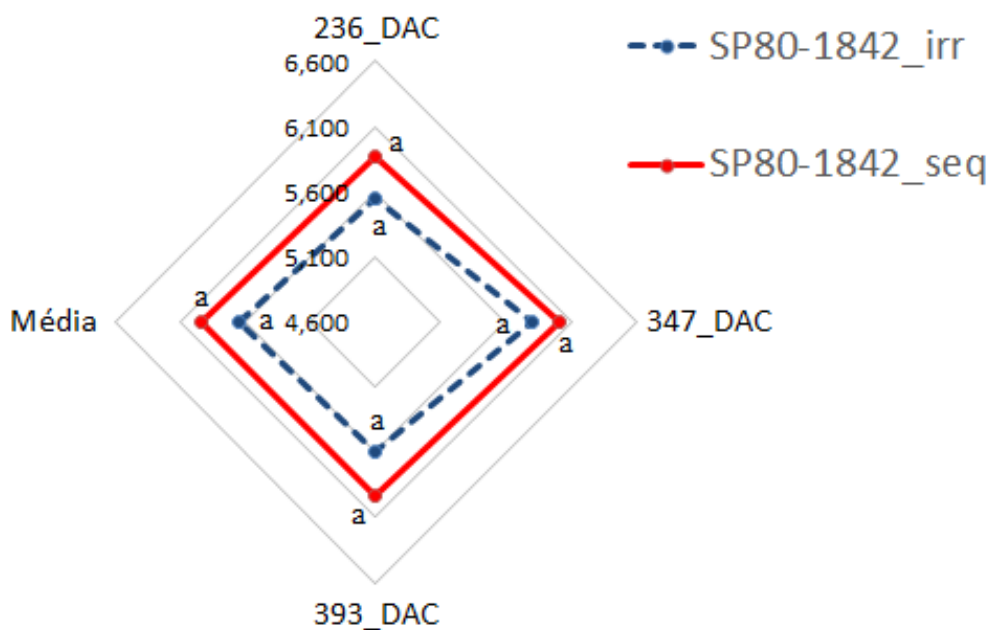


Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Na Figura 19 não ocorreu diferença significativa entre as épocas avaliadas (236; 347 e 393 DAC). O valor médio das três épocas para o genótipo SP80-1842 no manejo com deficiência hídrica (sequeiro) foi de: 5,936 ‰ ($\Delta^{13}\text{C}$) e no manejo sem deficiência hídrica (irrigado) foi de 5,648 ‰ ($\Delta^{13}\text{C}$). Verificou que mesmo com uma diferença não significativa entre os valores do fracionamento isotópico, ocorreu uma

diminuição no acúmulo de matéria seca de: 33,4 (Mg ha^{-1}) para o manejo irrigado para 28,2 (Mg ha^{-1}), para o manejo de sequeiro, tendo um decréscimo de 5,2 (Mg ha^{-1}).

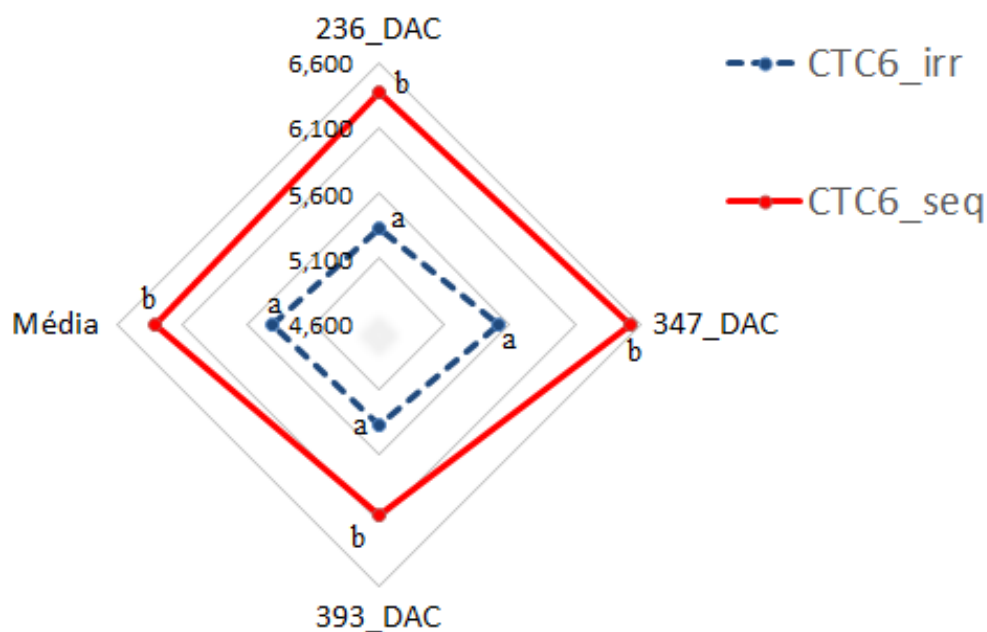
Figura 19 – Fracionamento isotópico ($\Delta^{13}\text{C}$ ‰), do genótipo SP80-1842; nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Na Figura 20 ocorreu diferença significativa em todas as épocas avaliadas (236; 347 e 393 DAC). O valor médio das três épocas para o genótipo CTC6 no manejo com deficiência hídrica (sequeiro) foi de: 6,315 ‰ ($\Delta^{13}\text{C}$) e no manejo sem deficiência hídrica (irrigado) foi de 5,405 ‰ ($\Delta^{13}\text{C}$). Verificou que a diferença foi significativa entre os valores do fracionamento isotópico, portanto ocorreu uma diminuição no acúmulo de matéria seca, foi de: 43,9 (Mg ha^{-1}) para o manejo irrigado para 25,0 (Mg ha^{-1}), para o manejo de sequeiro, tendo um decréscimo de 18,9 (Mg ha^{-1}).

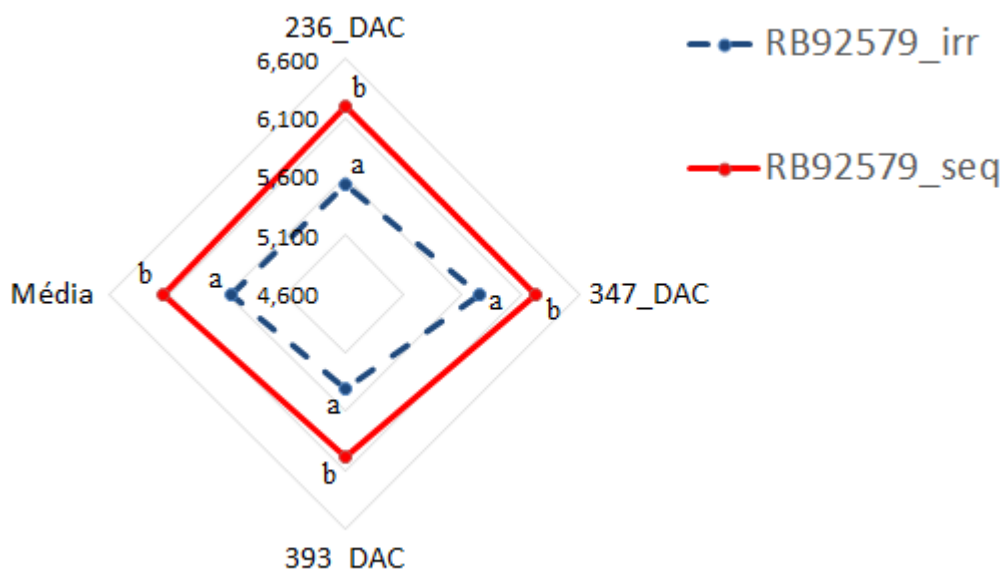
Figura 20 – Fracionamento isotópico ($\Delta^{13}\text{C}$ ‰), do genótipo CTC6; nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Na Figura 21 ocorreu diferença significativa em todas as épocas avaliadas (236; 347 e 393 DAC). O valor médio das três épocas para o genótipo RB92579 no manejo com deficiência hídrica (sequeiro) foi de: 6,140 ‰ ($\Delta^{13}\text{C}$) e no manejo sem deficiência hídrica (irrigado) foi de 5,560 ‰ ($\Delta^{13}\text{C}$). Verificou que a diferença foi significativa entre os valores do fracionamento isotópico, portanto ocorreu uma diminuição no acúmulo de matéria seca, foi de: 39,0 (Mg ha^{-1}) para o manejo irrigado para 26,1 (Mg ha^{-1}), para o manejo de sequeiro, tendo um decréscimo de 12,9 (Mg ha^{-1}).

Figura 21 – Fracionamento isotópico ($\Delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$), do genótipo RB92579; nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

A utilização da técnica do fracionamento isotópico de carbono em folhas +3 para seleção de cultivares de canas-de-açúcar tolerantes a deficiência hídrica, mostrou-se uma poderosa ferramenta, pois ela informa o histórico de como o carbono está sendo fixado pelas plantas, demonstrando as diferenças de interação de cada genótipo com os ambientes distintos a que as plantas são expostas. Entretanto devem-se compreender as etapas do fracionamento isotópico de carbono de cada espécie vegetal, com cada processo específico de estresse (H_2O , N, P_2O_5 , etc...).

4.2 Acúmulo de matéria seca

Na Tabela 9 observa-se o acúmulo de matéria seca (Mg ha^{-1}), apresentou diferenças significativas entre os manejos: sequeiro e irrigado (F-Manejo). Não ocorreu diferenças significativas entre os genótipos (F-Genótipo), nem para a interação entre os manejos e os genótipos (F-M x G).

Tabela 9 - Acúmulo de matéria seca da parte aérea (Mg há⁻¹), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

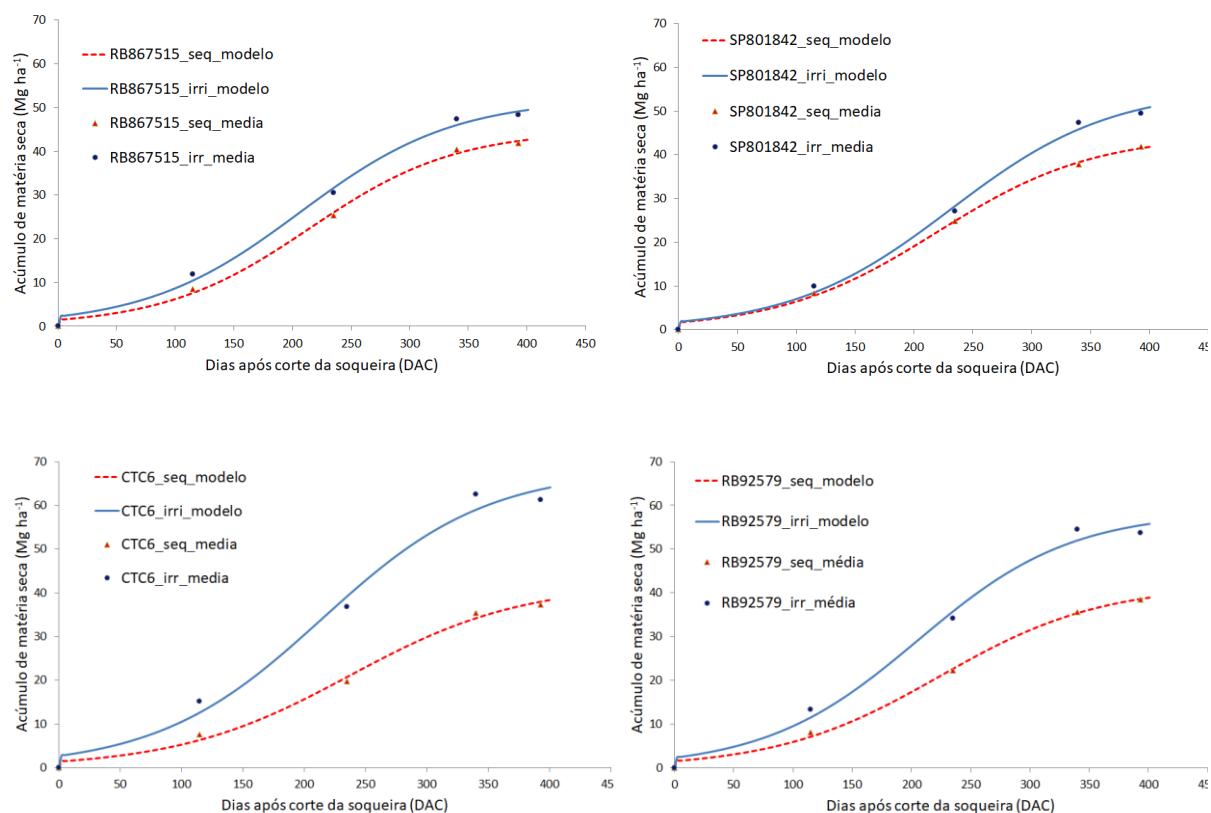
Manejo	Genótipo	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
-----Mg ha ⁻¹ -----											
Sequeiro	RB867515	8,5	a	25,4	a	40,5	a	41,8	a	29,1	a
Sequeiro	SP-801842	8,4	a	24,8	a	38,8	a	41,8	a	28,2	a
Sequeiro	CTC6	7,6	a	19,8	a	35,3	a	37,3	a	25,0	a
Sequeiro	RB92579	8,1	a	22,2	a	35,6	a	38,4	a	26,1	a
Irrigado	RB867515	11,9	a	30,6	a	47,4	a	48,3	a	34,6	a
Irrigado	SP-801842	10,0	a	27,0	a	47,3	a	49,4	a	33,4	a
Irrigado	CTC6	15,1	a	36,8	a	62,6	a	61,2	a	43,9	a
Irrigado	RB92579	13,4	a	34,2	a	54,5	a	53,8	a	39,0	a
Manejo (S)		8,14 A		23,09 A		37,32 A		39,82 A		27,08 A	
Manejo (I)		12,52 B		32,18 B		52,95 B		53,17 B		37,72 B	
M Geral		10,37		27,61		45,13		46,49		32,40	
F Genótipo		0,84		0,19		0,38		0,18		0,99	
F Manejo		19,04*		12,42*		12,48*		8,88*		47,24*	
F M x G		1,54		1,66		1,10		0,82		4,50*	
CV (%)		27,86		26,56		27,73		27,25		13.52	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

O “histórico” dos períodos de amostragens do acúmulo de matéria seca, representado pela média dos quatro períodos amostrados (Média**), demonstrou diferença significativa no manejo (F-Manejo) e na interação dos manejos com os genótipos (F-M x G). O cúmulo médio dos quatro genótipos nas épocas de 117; 236; 347 e 393 DAC para o manejo de sequeiro foram de: 8; 23; 37 e 40 Mg ha⁻¹, enquanto que para o manejo irrigado foram de: 13; 32; 53 e 53 Mg ha⁻¹.

Com os resultados de acúmulo de massa de matéria seca na parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 9) foram calculadas funções sigmoidais para descrever as equações das curvas de acúmulo de matéria seca, nos quatro genótipos e nos dois manejos (Figura 22 e Tabela 10).

Figura 22 – Acúmulo de matéria seca da parte aérea (Mg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

O acúmulo de matéria seca na parte aérea da cana-de-açúcar, em todos os genótipos, apresentou uma forma sigmóide característica de crescimento vegetal (ANDRADE et al., 1975; MACHADO et al., 1982), ocorrendo influência positiva da aplicação de água por meio irrigação por gotejamento.

No acúmulo de massa de material seco de um vegetal, na maioria dos casos, observa-se as três fases de ontogênese na planta (MAGALHÃES, 1979). Os valores obtidos da acumulação de matéria seca total média, para os 4 genótipos e nos dois manejos, também representam essas três fases de desenvolvimento do vegetal. Na cana-de-açúcar, segundo Machado (1987), essas três fases ficam perfeitamente caracterizadas por uma fase inicial em que o crescimento é lento, uma fase de crescimento rápido no qual 70 a 80% de toda matéria seca é acumulada, e uma fase final em que o crescimento é novamente lento, acumulando cerca de 10% da matéria seca total.

Na Figura 22 para os quatro genótipos e os dois manejos verifica-se que a primeira fase de desenvolvimento ocorreu de 0 aos 100 DAC, com crescimento lento e as plantas acumularam cerca de 10% da matéria seca total contida na parte aérea. A segunda fase de desenvolvimento ocorreu no período de 100 a 350 DAC, com crescimento rápido da parte aérea, acumulando 81% da matéria seca. A terceira fase, caracterizada como fase de maturação, ocorreu de 350 aos 393 DAC, acumulando a parte aérea 9% de sua matéria seca.

Tabela 10 - Modelo sigmoidal do acúmulo de matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos

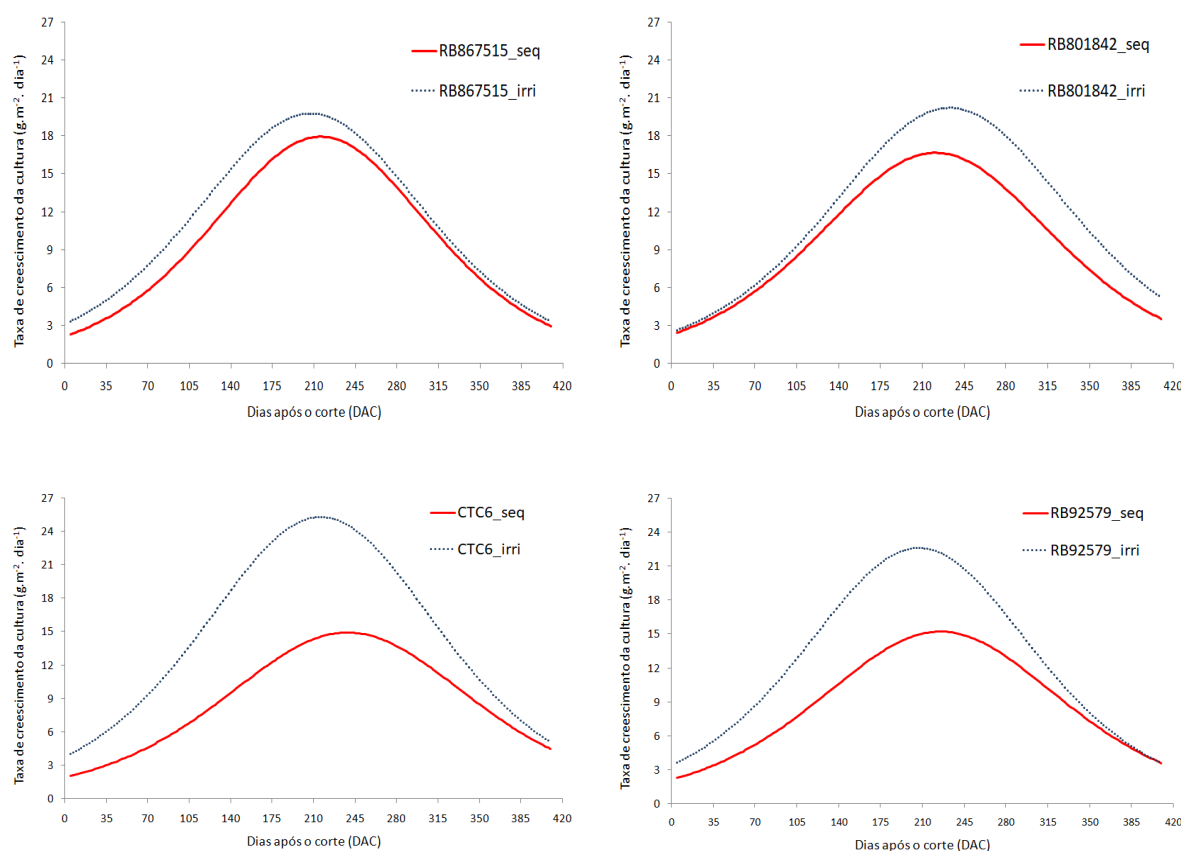
Tratamento	Equação	R*	Significativo
RB867515_irri	$MsI = 52,03/(1+\exp(-(DAC - 206,08)/65,82))$	0,89*	p<0,05
RB867515_seq	$MsS = 44,87/(1+\exp(-(DAC - 214,63)/62,54))$	0,96*	p<0,05
SP801842_irr	$MsI = 55,08/(1+\exp(-(DAC - 231,71)/68,11))$	0,91*	p<0,05
SP801842_seq	$MsS = 44,60/(1+\exp(-(DAC - 219,84)/66,94))$	0,97*	p<0,05
CTC6_irr	$MsI = 68,08/(1+\exp(-(DAC - 214,73)/67,34))$	0,95*	p<0,05
CTC6_seq	$MsS = 42,16/(1+\exp(-(DAC - 237,33)/70,67))$	0,90*	p<0,05
RB92579_irr	$MsI = 58,50/(1+\exp(-(DAC - 205,76)/64,72))$	0,90*	p<0,05
RB92579_seq	$MsS = 41,81/(1+\exp(-(DAC - 223,78)/68,73))$	0,90*	p<0,05

* teste F 5% de probabilidade

Verifica-se na Figura 22 e na Tabela 10, que os genótipos tiveram diferenças no acúmulo de matéria seca entre os dois ambientes de produção (irrigado e sequeiro). Na Tabela 10 subtraindo-se a assíntota horizontal (Ymax), máxima produção de matéria seca do ambiente irrigado para o ambiente sequeiro percebe-se um gradiente de resposta dos quatro genótipos a saber: RB867515 (7 Mg ha⁻¹); SP80-1842 (10 Mg ha⁻¹); RB92579 (17 Mg ha⁻¹) e CTC6 (26 Mg ha⁻¹).

A partir das equações logísticas do acúmulo de matéria seca, calculou-se o índice fisiológico: taxa de produção de matéria seca (TPMS) segundo Luchessi, (1984), que estão na Figura 23.

Figura 23 – Taxa de acúmulo de matéria seca ($\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

O conjunto de resultados da taxa de produção de matéria seca (TPMS) em função do tempo, apresentou uma curva com formato de sino, para os todos os tratamentos, sendo que a TPMS foi baixa no início do ciclo, aumentou rapidamente até atingir um valor máximo, para em seguida decrescer. Esse comportamento foi semelhante aos obtidos por Gava (2001); Oliveira (2011); Kölln (2012).

No genótipo RB867515 no ambiente irrigado a TPMS máxima foi de $19,76 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $11,65 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$; no ambiente de sequeiro a TPMS máxima foi de $17,93 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $10,18 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$.

Para o genótipo SP80-1842 no ambiente irrigado a TPMS máxima foi de $20,22 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $12,14 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$; no ambiente de sequeiro a TPMS máxima foi de $16,66 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $9,92 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$.

Para o genótipo CTC6 no ambiente irrigado a TPMS máxima foi de 25,28 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 15,14 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a TPMS máxima foi de 14,91 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 9,15 g m⁻² dia⁻¹.

Na o genótipo RB92579 no ambiente irrigado a TPMS máxima foi de 22,60 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 13,16 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a TPMS máxima foi de 15,21 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 9,22 g m⁻² dia⁻¹.

A TPMS é um parâmetro importante porque demonstra o incremento de matéria seca por unidade de área e por unidade de tempo, sendo classificada por Lucchesi (1984) como produtividade primária líquida.

4.3 Acúmulo de nutrientes

4.3.1 Nitrogênio

Na Tabela 11 observa-se que o acúmulo de Nitrogênio da arte aérea da cana-de-açúcar (kg ha⁻¹), obtiveram diferenças significativas entre os manejos: sequeiro e irrigado (F-Manejo).

A média dos períodos de amostragens do acúmulo de nitrogênio, (Média**), demonstrou diferença significativa no manejo (F-Manejo), nos genótipos (F-Genótipos) e na interação dos manejos com os genótipos (F-M x G). A extração de nitrogênio médio dos quatro genótipos nas épocas de 117; 236; 347 e 393 DAC para o manejo de sequeiro foram de: 65; 118; 120 e 110 kg ha⁻¹, enquanto que para o manejo irrigado foram de: 100; 163; 166 e 162 kg ha⁻¹.

Com os resultados da extração do nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 11) foram calculadas funções sigmoidais para descrever as equações das curvas de nitrogênio extraído, nos quatro genótipos e nos dois manejos (Figura 24 e Tabela 12).

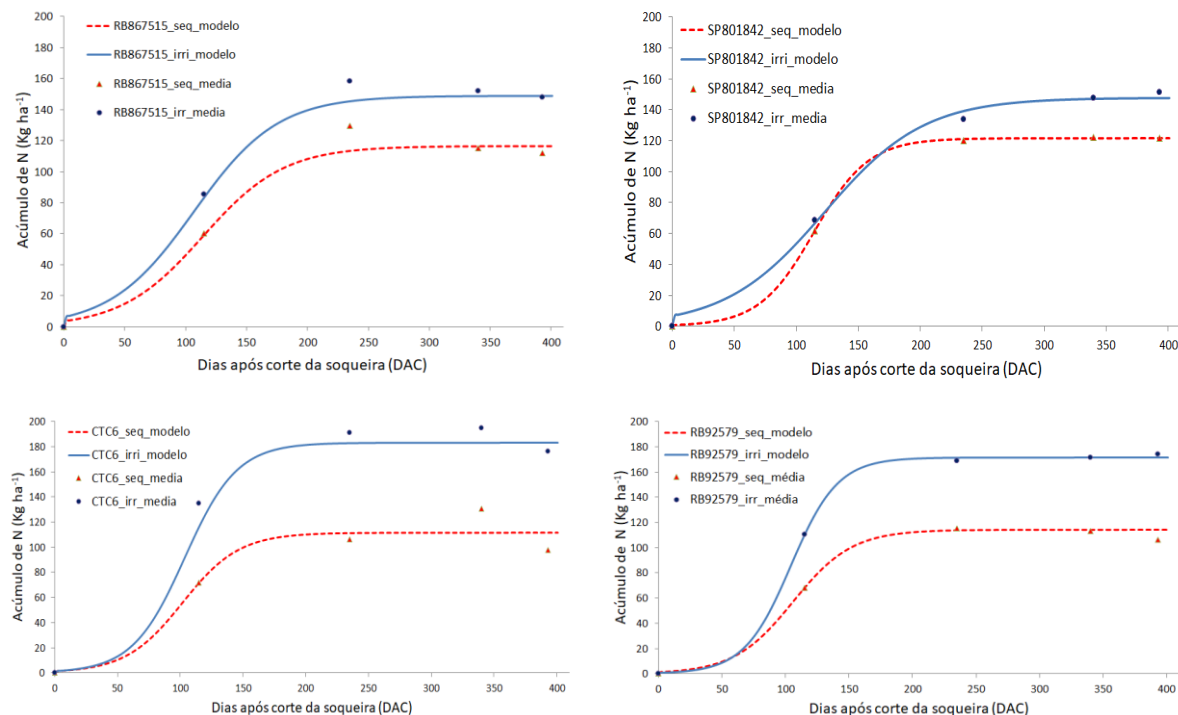
Tabela 11 - Acúmulo de nitrogênio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Manejo	Genótipo	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
-----kg ha ⁻¹ -----											
Sequeiro	RB867515	60,1	a	129,5	a	115,1	a	113,1	a	104,4	a
Sequeiro	SP-801842	61,8	a	119,9	a	122,0	a	121,6	a	106,3	a
Sequeiro	CTC6	71,8	a	106,3	a	130,5	a	97,6	a	101,6	a
Sequeiro	RB92579	68,1	a	115,4	a	113,3	a	106,4	a	100,8	a
Irrigado	RB867515	85,3	a	158,2	a	152,0	a	148,2	a	135,9	a
Irrigado	SP-801842	68,8	a	133,8	a	147,5	a	151,1	a	125,3	a
Irrigado	CTC6	134,6	a	191,1	a	194,9	a	176,4	a	174,3	b
Irrigado	RB92579	110,2	a	168,9	a	171,5	a	173,9	a	156,6	ab
Manejo (S)		65,47 A		117,79 A		120,2 A		109,67 A		103,29 A	
Manejo (I)		99,75 B		162,99 B		166,471 B		162,41 B		147,91 B	
M Geral		82,61		140,39		143,35		136,04		125,59	
F Genótipo		2,04		0,51		1,10		0,10		2,89*	
F Manejo		8,31*		11,59*		12,86*		18,07*		60,41*	
F M x G		1,01		1,37		0,49		0,44		4,38*	
CV (%)		40,71		26,75		25,44		25,79		12,93	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

Os valores obtidos de acúmulo de nitrogênio da parte aérea, média para os 4 genótipos e nos dois manejos, representam três fases de extração. Caracterizadas por uma fase inicial de acúmulo lento, uma fase de extração rápida no qual 70 a 80% de todo N é acumulado, e uma fase final em que a extração é novamente lento, acumulando cerca de 10% do N da parte aérea. Resultados semelhantes da curva de acúmulo de nitrogênio foram obtidos por Kölln (2012) em cana-de-açúcar em cana irrigada e Oliveira (2011) em manejo de sequeiro.

Figura 24 – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Na Figura 24 para os quatro genótipos e os dois manejos verifica-se que a primeira fase de desenvolvimento ocorreu de 0 aos 60 DAC, com crescimento lento e as plantas acumularam cerca de 10% do acúmulo do nitrogênio. A segunda fase de desenvolvimento ocorreu no período de 60 a 152 DAC, com a extração rápida do N, acumulando 81% da matéria seca. A terceira fase, caracterizada como fase de baixa extração, ocorreu de 152 aos 393 DAC, acumulando a parte aérea 9% do nitrogênio.

Verifica-se na Figura 24 e na Tabela 12 que os genótipos tiveram diferenças no acúmulo de nitrogênio na parte aérea entre os dois ambientes de produção (irrigado e sequeiro). Na Tabela 12 subtraindo-se a assíntota horizontal ($Y_{\max}$), máxima extração de N do ambiente irrigado para o ambiente sequeiro percebe-se um gradiente de resposta dos quatro genótipos a saber: SP80-1842 ($26,3 \text{ Mg ha}^{-1}$); RB867515 ($32,2 \text{ Mg ha}^{-1}$); RB92579 ($54,49 \text{ Mg ha}^{-1}$) e CTC6 ($71,7 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Tabela 12 - Modelo sigmoidal do acúmulo de nitrogênio da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos

Tratamento	Equação	R*	Significativo
RB867515_irri	$NI = 148,8/(1+\exp(-(DAC - 106,87)/34,34))$	0,81*	p<0,05
RB867515_seq	$NS = 116,6/(1+\exp(-(DAC - 114,01)/33,45))$	0,89*	p<0,05
SP801842_irri	$NI = 147,6/(1+\exp(-(DAC - 122,89)/40,19))$	0,89*	p<0,05
SP801842_seq	$NS = 121,3/(1+\exp(-(DAC - 114,22)/22,08))$	0,93*	p<0,05
CTC6_irri	$NI = 183,3/(1+\exp(-(DAC - 103,51)/20,83))$	0,95*	p<0,05
CTC6_seq	$NS = 111,6/(1+\exp(-(DAC - 101,73)/22,64))$	0,94*	p<0,05
RB92579_irri	$NI = 171,5/(1+\exp(-(DAC - 104,19)/18,43))$	0,90*	p<0,05
RB92579_seq	$NS = 114,01/(1+\exp(-(DAC - 105,9)/23,24))$	0,88*	p<0,05

* teste F 5% de probabilidade

A partir das equações logísticas do acúmulo de nitrogênio, calculou-se o índice fisiológico: taxa de acúmulo de nitrogênio (TAN) segundo Luchessi, (1984), que estão na Figura 25.

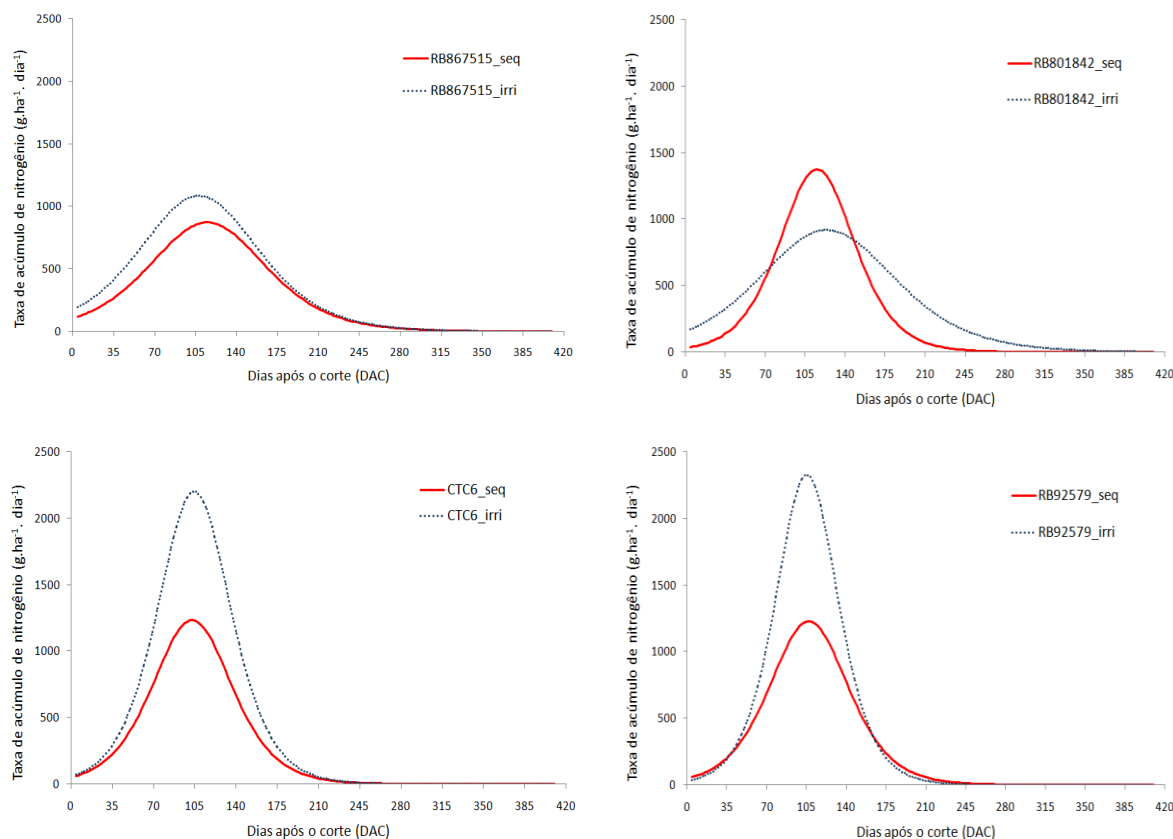
No genótipo RB867515 no ambiente irrigado a TAN máxima foi de 1083,5 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 348 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a TAN máxima foi de 871,3 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 276,09 g m⁻² dia⁻¹.

Para o genótipo SP80-1842 no ambiente irrigado a TAN máxima foi de 919,1 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 344,4 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a TAN máxima foi de 1373,3 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 259,6 g m⁻² dia⁻¹.

Para o genótipo CTC6 no ambiente irrigado a TAN máxima foi de 2197,5 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 445,9 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a TAN máxima foi de 1232,2 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 270,3 g m⁻² dia⁻¹.

Na o genótipo RB92579 no ambiente irrigado a TAN máxima foi de 2324,0 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 418,7 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a TAN máxima foi de 1225,3 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 276,29 g m⁻² dia⁻¹.

Figura 25 – Taxa de acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar ($\text{g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

4.3.2 Fósforo

Na Tabela 13 observa-se que o acúmulo de fósforo da parte aérea da cana-de-açúcar (kg há^{-1}), apresentaram diferenças significativas entre os manejos: sequeiro e irrigado (F-Manejo). Para a interação dos manejos com os genótipos (F-M x G), ocorreu diferença significativa apenas no período de 236 DAC.

A média dos períodos de amostragens do acúmulo de fósforo, (Média**), demonstrou diferença significativa no manejo (F-Manejo) e na interação dos manejos com os genótipos (F-M x G). A extração de fósforo médio dos quatro genótipos nas épocas de 117; 236; 347 e 393 DAC para o manejo de sequeiro foram respectivamente de: 10,6; 24,5; 35,4 e 35,7 kg ha^{-1} , enquanto que para o manejo irrigado foram de: 16,3; 34,4; 50,5 e 47,9 kg ha^{-1} .

Tabela 13 - Acúmulo de fósforo da parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha⁻¹), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

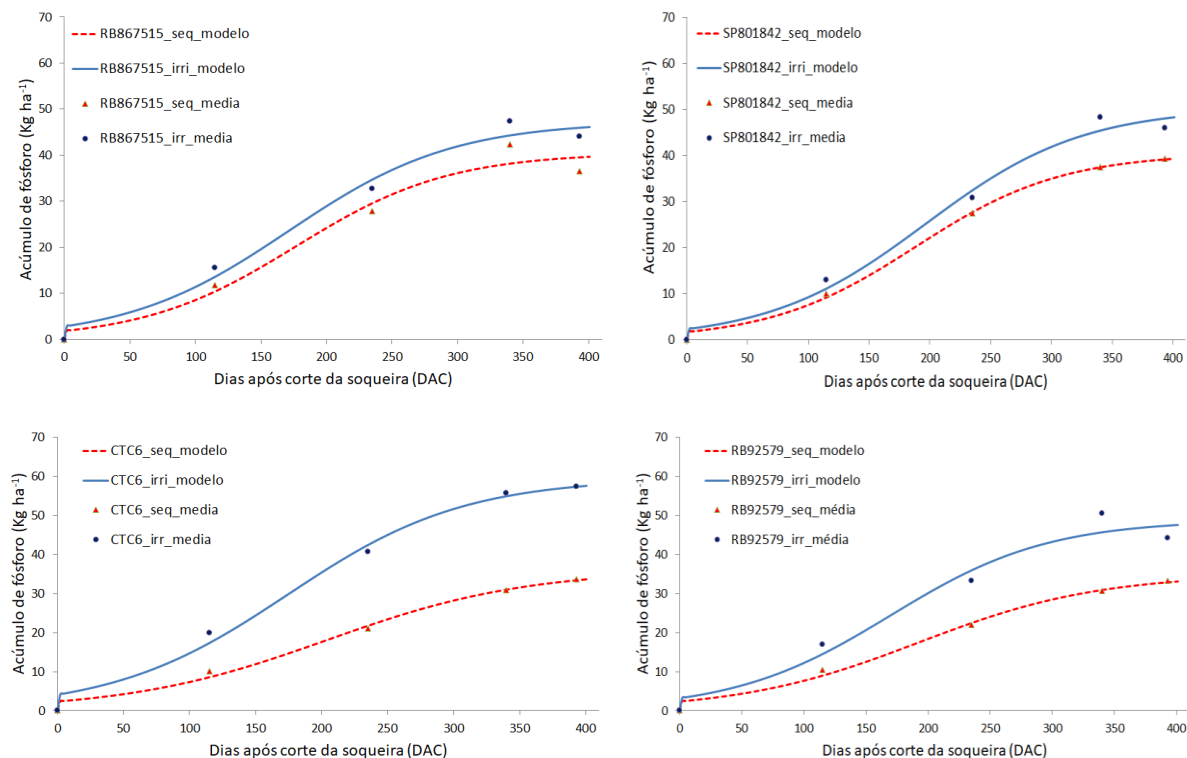
Manejo	Genótipo	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
-----kg ha-1 -----											
Sequeiro	RB867515	11,8	a	27,9	a	42,4	a	36,6	a	29,7	a
Sequeiro	SP-801842	10,0	a	27,4	a	37,5	a	39,8	a	28,6	a
Sequeiro	CTC6	10,1	a	21,00	a	30,9	a	33,6	a	23,9	a
Sequeiro	RB92579	10,4	a	21,9	a	30,7	a	33,4	a	24,1	a
Irrigado	RB867515	15,6	a	32,8	a	47,3	a	44,0	a	34,9	a
Irrigado	SP-801842	12,9	a	30,7	a	48,3	a	46,0	a	34,5	a
Irrigado	CTC6	20,0	a	40,7	a	55,7	a	57,4	a	43,5	b
Irrigado	RB92579	16,9	a	33,2	a	50,6	a	44,2	a	36,2	a
Manejo (S)		10,59 A		24,55 A		35,36 A		35,72 A		26,55 A	
Manejo (I)		16,34 B		34,36 B		50,48 B		47,89 B		37,27 B	
M Geral		13,46		29,45		42,92		41,81		31,91	
F Genótipo		1,45		0,39		0,19		0,51		1,09	
F Manejo		22,69*		17,05*		14,38*		8,69*		57,52*	
F M x G		1,70		2,46*		1,25		0,93		5,56*	
CV (%)		25,39		22,82		26,26		24,94		12,52	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

Com os resultados da extração do fósforo na parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 13) foram calculadas funções sigmoidais para descrever as equações das curvas de fósforo extraído, nos quatro genótipos e nos dois manejos (Figura 26 e Tabela 14).

Os valores obtidos da acumulação de fósforo da parte aérea, a média para os 4 genótipos e nos dois manejos, representam três fases de extração. Caracterizadas por uma fase inicial de acúmulo lento, uma fase de extração rápida no qual 70 a 80% de todo P é acumulado, e uma fase final em que a extração é novamente lento, acumulando cerca de 10% do P da parte aérea. Resultados semelhantes da curva de acumulação de fósforo foram obtidos por Oliveira (2011) em cana-de-açúcar em manejo de sequeiro.

Figura 26 – Acúmulo de fósforo na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Na Figura 26 para os quatro genótipos e os dois manejos verifica-se que a primeira fase de desenvolvimento ocorreu de 0 aos 50 DAC, com crescimento lento e as plantas acumularam cerca de 11% de fósforo. A segunda fase de desenvolvimento ocorreu no período de 50 a 315 DAC, com a extração rápida do P, acumulando 81% da matéria seca. A terceira fase, caracterizada como fase de baixa extração, ocorreu de 315 aos 393 DAC, acumulando a parte aérea 8% do fósforo.

Verifica-se na Figura 26 e na Tabela 14 que os genótipos tiveram diferenças no acúmulo de fósforo na parte aérea entre os dois ambientes de produção (irrigado e sequeiro). Na Tabela 14 subtraindo-se a assíntota horizontal ($Y_{\max}$), máxima extração de P do ambiente irrigado para o ambiente sequeiro percebe-se um gradiente de resposta dos quatro genótipos a saber: RB867515 ($6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$); SP80-1842 ($9,7 \text{ Mg ha}^{-1}$); RB92579 ($13,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) e CTC6 ($23,5 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Tabela 14 - Modelo sigmoidal do acúmulo de fósforo da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos

Tratamento	Equação	R*	Significativo
RB867515_irri	$PI = 47,25/(1+\exp(-(DAC - 171,64)/62,49))$	0,88*	p<0,05
RB867515_seq	$PS = 40,55/(1+\exp(-(DAC - 176,97)/58,46))$	0,92*	p<0,05
SP801842_irri	$PI = 50,25/(1+\exp(-(DAC - 196,36)/64,7))$	0,88*	p<0,05
SP801842_seq	$PS = 40,51/(1+\exp(-(DAC - 188,28)/60,14))$	0,97*	p<0,05
CTC6_irri	$PI = 59,6/(1+\exp(-(DAC - 174,69)/66,7))$	0,96*	p<0,05
CTC6_seq	$PS = 36,14/(1+\exp(-(DAC - 204,36)/75,81))$	0,91*	p<0,05
RB92579_irri	$PI = 48,78/(1+\exp(-(DAC - 169,85)/63,38))$	0,91*	p<0,05
RB92579_seq	$PS = 35,03/(1+\exp(-(DAC - 192,71)/72,51))$	0,89*	p<0,05

* teste F 5% de probabilidade

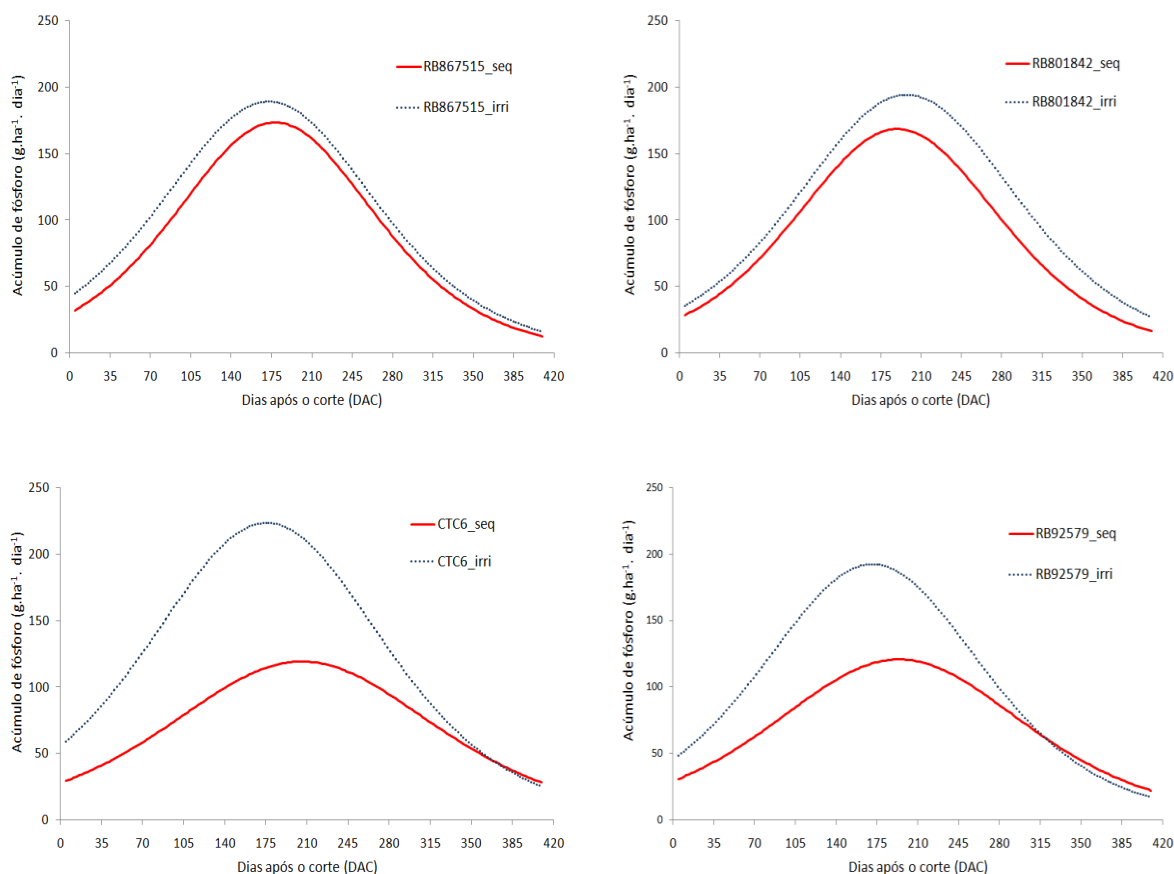
A partir das equações logísticas do acúmulo de fósforo, calculou-se o índice fisiológico: taxa de acúmulo de fósforo que estão na Figura 27.

O conjunto de resultados da taxa de acúmulo de fósforo em função do tempo, apresentou uma curva com formato de sino, para os todos os tratamentos, sendo que o acúmulo foi baixa no início do ciclo, aumentou rapidamente até atingir um valor máximo, para em seguida decrescer. Esse comportamento foi semelhante aos obtidos por Oliveira (2011).

Para o genótipo CTC6 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo de fósforo máxima foi de 223,4 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 131,7 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo de fósforo máxima foi de 119,19 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 77,34 g m⁻² dia⁻¹.

Na o genótipo RB92579 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo de fósforo máxima foi de 192,4 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 19,01 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo de fósforo máxima foi de 120,8 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 76,0 g m⁻² dia⁻¹.

Figura 27 – Taxa de acúmulo de fósforo na parte aérea da cana-de-açúcar ($\text{g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%

No genótipo RB867515 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo de fósforo máxima foi de $189 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a média de $106,12 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo de fósforo máxima foi de $173,4 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a média de $92,83 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Para o genótipo SP80-1842 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo de fósforo máxima foi de $194,17 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a média de $112,98 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo de fósforo máxima foi de $168,4 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a média de $92,58 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

4.3.3 Potássio

Na Tabela 15 observa-se que o acúmulo de potássio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg há⁻¹), apresentaram diferenças significativas entre os manejos: sequeiro e irrigado (F-Manejo), nas épocas 117 e 347 DAC.

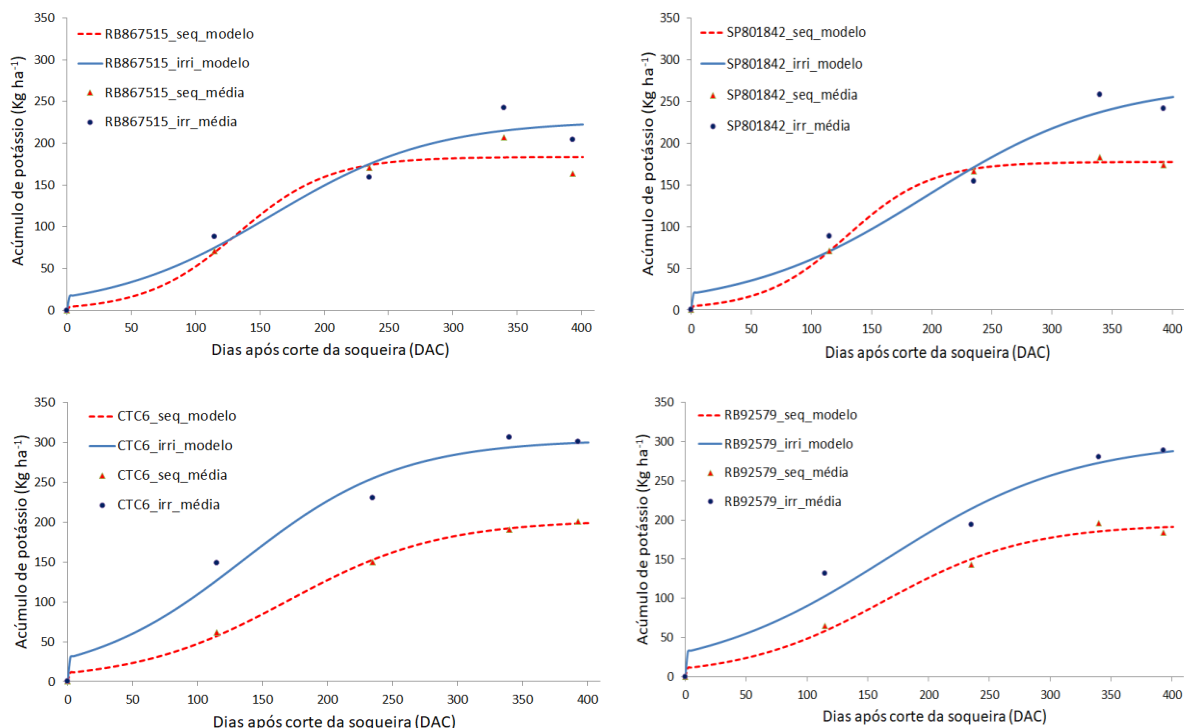
Tabela 15 - Acúmulo de potássio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha⁻¹), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Manejo	Genótipo	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**
-----kg ha ⁻¹ -----										
Sequeiro	RB867515	70,9	a	170,4	a	206,7	a	163,9	a	153,0 a
Sequeiro	SP-801842	71,3	a	166,6	a	183,4	a	173,5	a	148,7 a
Sequeiro	CTC6	61,9	a	150,0	a	190,2	a	200,6	a	150,4 a
Sequeiro	RB92579	65,3	a	143,3	a	196,3	a	183,8	a	147,2 a
Irrigado	RB867515	88,5	a	159,6	a	242,7	a	204,1	a	173,7 a
Irrigado	SP-801842	88,6	a	154,1	a	257,8	a	241,1	a	185,4 a
Irrigado	CTC6	149,2	a	230,7	a	306,2	a	301,0	a	246,8 b
Irrigado	RB92579	131,8	a	194,2	a	280,1	a	288,2	a	223,6 ab
Manejo (S)		67,34 A		157,59 A		194,16 A		180,47 A		149,89 A
Manejo (I)		114,53 B		184,65 A		271,69 B		258,61 B		207,37 B
M Geral		40,32		171,12		232,93		219,54		178,63
F Genótipo		1,029		0,36		0,35		1,36		3,83*
F Manejo		13,25*		1,50		13,07*		9,34		46,44*
F M x G		1,86		1,10		0,59		0,35		4,26*
CV (%)		40,32		36,49		26,04		32,95		13,36

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

Com os resultados da extração do potássio na parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 15) foram calculadas funções sigmoidais para descrever as equações das curvas de potássio extraído, nos quatro genótipos e nos dois manejos (Figura 28 e Tabela 16).

Figura 28 – Acúmulo de potássio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

O acúmulo de potássio na parte aérea da cana-de-açúcar, em todos os genótipos, apresentou uma forma sigmóide característica de crescimento vegetal (ANDRADE et al., 1975; MACHADO et al., 1982), ocorrendo influência positiva da aplicação de água por meio irrigação por gotejamento.

No acúmulo de potássio na maioria dos casos, observa-se as três fases de ontogênese na planta (OLIVEIRA, 2011). Os valores obtidos da extração de potássio médio, para os 4 genótipos e nos dois manejos, também representam essas três fases de desenvolvimento do vegetal.

Na Figura 28 para os quatro genótipos e os dois manejos verifica-se que a primeira fase de desenvolvimento ocorreu de 0 aos 50 DAC, com crescimento lento e as plantas acumularam cerca de 10% do potássio total contido na parte aérea. A segunda fase de desenvolvimento ocorreu no período de 50 a 220 DAC, com crescimento rápido da parte aérea, acumulando 8% do potássio. A terceira fase,

caracterizada como fase de maturação, ocorreu de 220 aos 393 DAC, acumulando a parte aérea 10% do potássio total acumulado.

Tabela 16 - Modelo sigmoidal do acúmulo de potássio a da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos

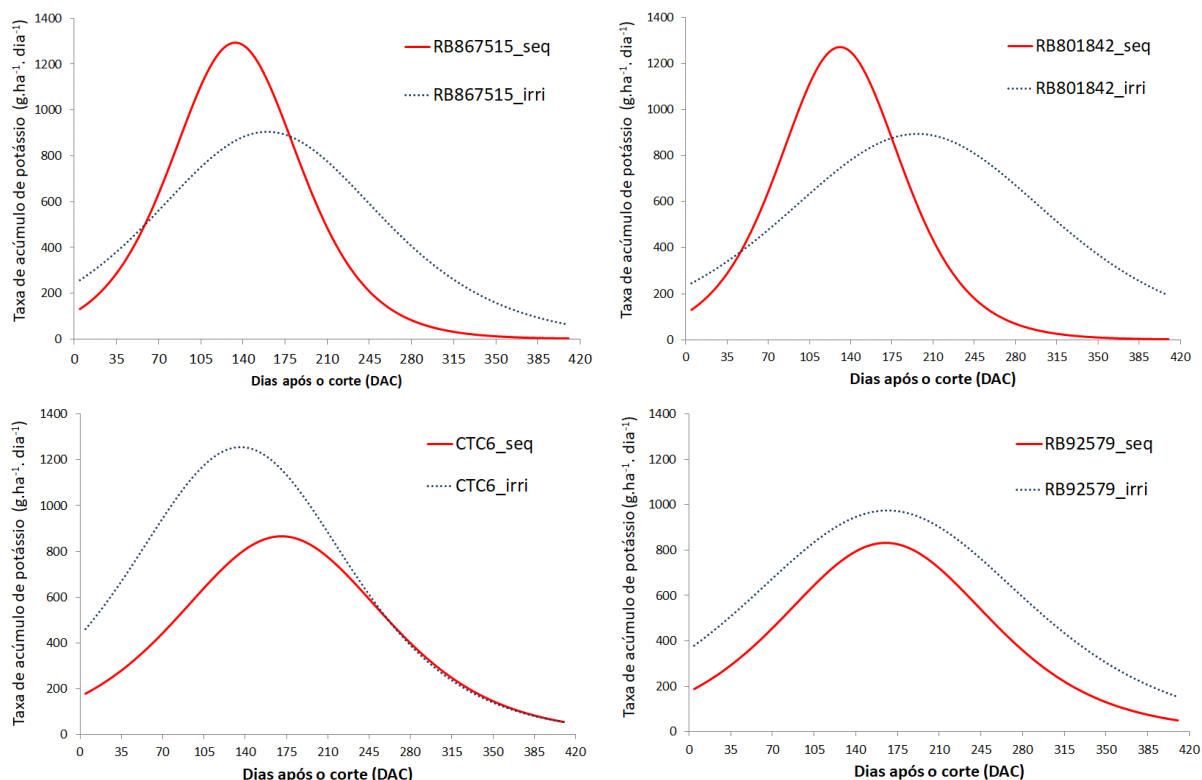
Tratamento	Equação	R*	Significativo
RB867515_irri	$KI = 227,08/(1+\exp(-(DAC - 158,86)/62,72))$	0,83*	p<0,05
RB867515_seq	$KS = 183,95/(1+\exp(-(DAC - 132,38)/35,56))$	0,93*	p<0,05
SP801842_irr	$KI = 272,15/(1+\exp(-(DAC - 195,5)/76,02))$	0,77*	p<0,05
SP801842_seq	$KS = 177,56/(1+\exp(-(DAC - 129,66)/34,92))$	0,93*	p<0,05
CTC6_irr	$KI = 303,47/(1+\exp(-(DAC - 134,89)/60,4))$	0,91*	p<0,05
CTC6_seq	$KS = 202,22/(1+\exp(-(DAC - 169,6)/58,28))$	0,93*	p<0,05
RB92579_irr	$KI = 301,6/(1+\exp(-(DAC - 165,5)/77,21))$	0,89*	p<0,05
RB92579_seq	$KS = 194,39/(1+\exp(-(DAC - 164,02)/58,3))$	0,91*	p<0,05

* teste F 5% de probabilidade

Verifica-se na Figura 28 e na Tabela 16 que os genótipos tiveram diferenças no acúmulo de potássio entre os dois ambientes de produção (irrigado e sequeiro). Na Tabela 16 subtraindo-se a assíntota horizontal (Ymax), máxima produção de K do ambiente irrigado para o ambiente sequeiro percebe-se um gradiente de resposta dos quatro genótipos a saber: RB867515 (43,13 Mg ha⁻¹); SP80-1842 (94,60 Mg ha⁻¹); RB92579 (101,25 Mg ha⁻¹) e CTC6 (107,21 Mg ha⁻¹).

A partir das equações logísticas do acúmulo de potássio, calculou-se o índice fisiológico: taxa de acúmulo de potássio que estão na Figura 29.

Figura 29 – Taxa de acúmulo de potássio na parte aérea da cana-de-açúcar ($\text{g ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

O conjunto de resultados da taxa de acúmulo de potássio em função do tempo, apresentou uma curva com formato de sino, para os todos os tratamentos, sendo que a taxa de acúmulo de potássio foi baixa no início do ciclo, aumentou rapidamente até atingir um valor máximo, para em seguida decrescer. Esse comportamento foi semelhante aos obtidos por Oliveira (2011)

No genótipo RB867515 no ambiente irrigado a extração máxima foi de $898,8 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $504,4 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$; no ambiente de sequeiro a extração máxima foi de $1293,2 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $439,4 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$.

Para o genótipo SP80-1842 no ambiente irrigado a extração máxima foi de $894,9 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $581,1 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$; no ambiente de sequeiro a extração máxima foi de $1270,9 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $424,1 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$.

Para o genótipo CTC6 no ambiente irrigado a extração máxima foi de $1255,9 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $661,8 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$; no ambiente de sequeiro a extração máxima foi de $867,4 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e a média de $461,3 \text{ g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$.

Na o genótipo RB92579 no ambiente irrigado a extração máxima foi de 976,6 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 629,9 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a extração máxima foi de 833,6 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 441,7 g m⁻² dia⁻¹.

4.3.4 Cálcio

Na Tabela 17 observa-se que a extração de cálcio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha⁻¹), apresentaram diferenças significativas entre os manejos: sequeiro e irrigado (F-Manejo) em todas as épocas (117; 236; 347 e 393 DAC).

Tabela 17 - Acúmulo de cálcio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha⁻¹), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Manejo	Genótipo	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
-----kg ha-1 -----											
Sequeiro	RB867515	24,0	a	56,4	a	58,9	a	57,8	a	49,3	a
Sequeiro	SP-801842	22,1	a	58,4	a	62,8	a	57,9	a	50,3	a
Sequeiro	CTC6	21,1	a	47,7	a	54,7	a	53,2	a	44,2	a
Sequeiro	RB92579	22,9	a	52,3	a	56,4	a	53,3	a	46,2	a
Irrigado	RB867515	37,2	a	70,1	a	74,4	a	70,0	a	62,9	ab
Irrigado	SP-801842	29,2	a	66,7	a	79,3	a	66,4	a	60,4	a
Irrigado	CTC6	45,7	a	90,4	a	93,6	a	90,0	a	79,9	b
Irrigado	RB92579	40,8	a	82,6	a	86,3	a	77,4	a	72,5	ab
Manejo (S)		22,53 A		53,69 A		58,18 A		55,57 A		47,49 A	
Manejo (I)		38,25 B		77,47 B		84,16 B		75,95 B		68,96 B	
M Geral		30,39		65,58		71,17		65,76		58,23	
F Genótipo		0,59		0,32		0,10		0,48		0,97	
F Manejo		13,34*		17,91*		6,51*		11,89*		47,07*	
F M x G		0,75		1,96		0,33		1,18		3,57*	
CV (%)		40,05		24,23		40,45		25,42		15,20	

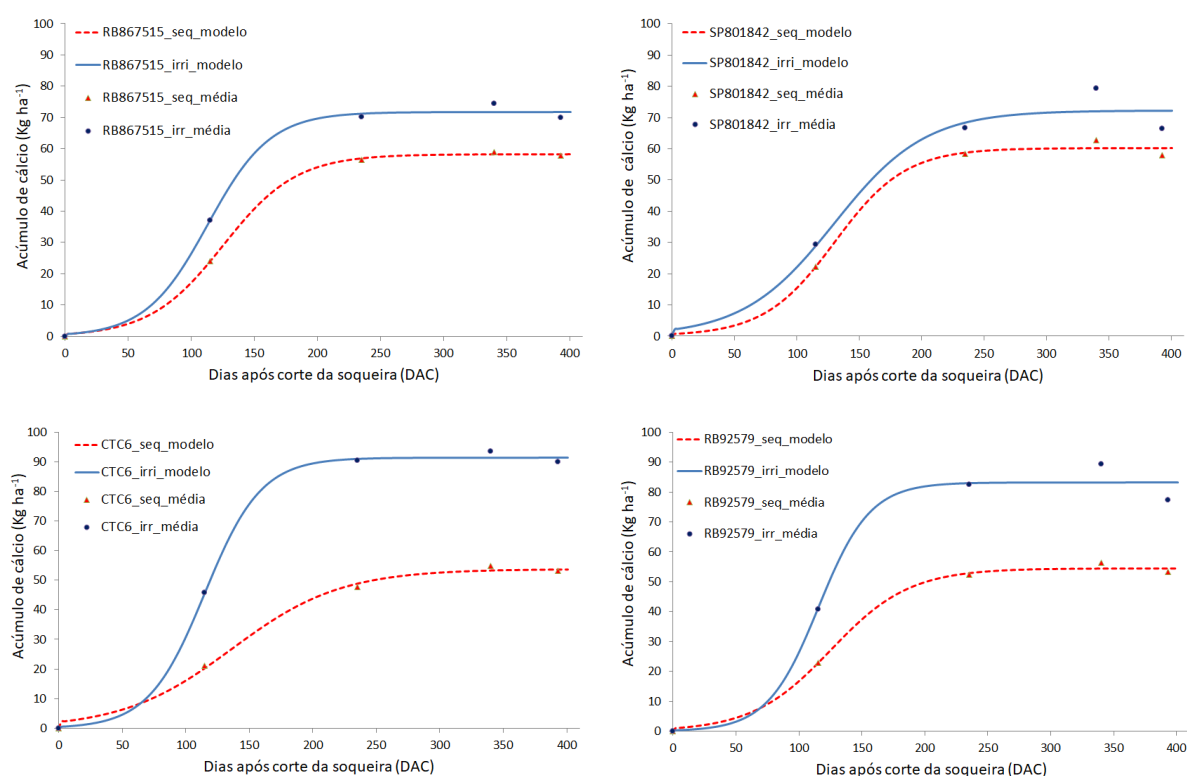
Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

A média dos períodos de amostragens do acúmulo de nitrogênio, (Média**), demonstrou diferença significativa no manejo (F-Manejo) e na interação dos manejos com os genótipos (F-M x G). A extração de cálcio médio dos quatro genótipos nas épocas de 117; 236; 347 e 393 DAC para o manejo de sequeiro foram de: 23; 54;

58 e 56 kg ha⁻¹, enquanto que para o manejo irrigado foram de: 38; 77; 84 e 76 kg ha⁻¹.

Com os resultados da extração do cálcio na parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 17) foram calculadas funções sigmoidais para descrever as equações das curvas de cálcio extraído, nos quatro genótipos e nos dois manejos (Figura 30 e Tabela 18).

Figura 30 – Acúmulo de cálcio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha⁻¹), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Os valores obtidos da acumulação de cálcio da parte aérea, média para os 4 genótipos e nos dois manejos, representam três fases de extração. Caracterizadas por uma fase inicial de acúmulo lento, uma fase de extração rápida na qual 70 a 80% de todo Ca é acumulado, e uma fase final em que a extração é novamente lento, acumulando cerca de 10% do Ca da parte aérea. Resultados semelhantes encontrados por Oliveira (2011), da curva de acumulação de cálcio em cana-de-açúcar no manejo irrigado.

Na Figura 30 para os quatro genótipos e os dois manejos verifica-se que a primeira fase de desenvolvimento ocorreu de 0 aos 40 DAC, com crescimento lento e as plantas acumularam cerca de 5% do acúmulo do cálcio. A segunda fase de desenvolvimento ocorreu no período de 40 a 172 DAC, com a extração rápido do Ca, acumulando 86% da matéria seca. A terceira fase, caracterizada como fase de baixa extração, ocorreu de 172 aos 393 DAC, acumulando a parte aérea 9% do cálcio.

Tabela 18 - Modelo sigmoidal do acúmulo de cálcio a da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos

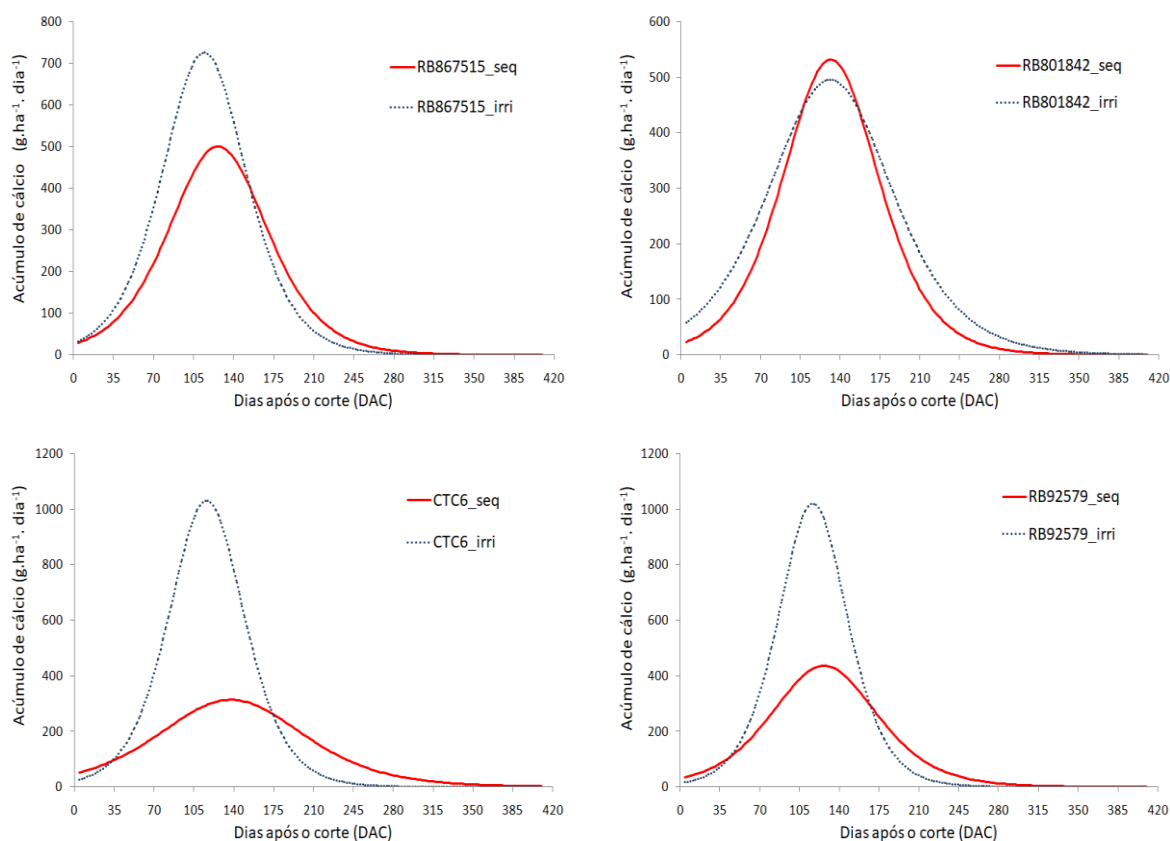
Tratamento	Equação	R*	Significativo
RB867515_irri	$CaI = 71,69/(1+\exp(-(DAC - 113,25)/24,76))$	0,82*	p<0,05
RB867515_seq	$CaS = 58,17/(1+\exp(-(DAC - 125,34)/29,08))$	0,95*	p<0,05
SP801842_irr	$CaI = 72,27/(1+\exp(-(DAC - 130,13)/36,50))$	0,83*	p<0,05
SP801842_seq	$CaS = 60,22/(1+\exp(-(DAC - 130,45)/28,32))$	0,92*	p<0,05
CTC6_irr	$CaI = 91,48/(1+\exp(-(DAC - 115,04)/22,18))$	0,91*	p<0,05
CTC6_seq	$CaS = 53,81/(1+\exp(-(DAC - 136,42)/42,91))$	0,80*	p<0,05
RB92579_irr	$CaI = 83,18/(1+\exp(-(DAC - 115,73)/20,38))$	0,93*	p<0,05
RB92579_seq	$CaS = 54,54/(1+\exp(-(DAC - 125,5)/31,26))$	0,86*	p<0,05

* teste F 5% de probabilidade

Verifica-se na Figura 30 e na Tabela 18 que os genótipos tiveram diferenças no acúmulo de cálcio na parte aérea entre os dois ambientes de produção (irrigado e sequeiro). Na Tabela 18 subtraindo-se a assíntota horizontal (Ymax), máxima extração de Ca do ambiente irrigado para o ambiente sequeiro percebe-se um gradiente de resposta dos quatro genótipos a saber: SP80-1842 (12,05 Kg ha⁻¹); RB867515 (13,52 Kg ha⁻¹); CTC6 (28,64 Kg ha⁻¹) e RB92579 (20,37 Kg ha⁻¹).

A partir das equações logísticas do acúmulo de cálcio, calculou-se o índice fisiológico: taxa de acúmulo de cálcio segundo que estão na Figura 31.

Figura 31 – Taxa de acúmulo de cálcio na parte aérea da cana-de-açúcar ($\text{g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%

O conjunto de resultados da taxa de acúmulo de cálcio em função do tempo, apresentou uma curva com formato de sino, para os todos os tratamentos, sendo que a taxa foi baixa no início do ciclo, aumentou rapidamente até atingir um valor máximo, para em seguida decrescer. Esse comportamento foi semelhante aos obtidos por Oliveira (2011).

No genótipo RB867515 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo do cálcio máxima foi de $725,4 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a média de $173,8 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo do cálcio máxima foi de $500 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a média de $140,6 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Para o genótipo SP80-1842 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo do cálcio máxima foi de 494,98 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 171,93 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo do cálcio máxima foi de 531,4 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 143,1 g m⁻² dia⁻¹.

Para o genótipo CTC6 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo do cálcio máxima foi de 1030,1 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 222,9 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo do cálcio máxima foi de 313,49 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 126,2 g m⁻² dia⁻¹.

Na o genótipo RB92579 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo do cálcio máxima foi de 1019,7 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 203,2 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo do cálcio máxima foi de 436,1 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 131,1 g m⁻² dia⁻¹.

4.3.5 Magnésio

Na Tabela 19 observa-se que o acúmulo de magnésio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg há⁻¹), apresentou diferenças significativas entre os manejos: sequeiro e irrigado (F-Manejo).

A média dos períodos de amostragens do acúmulo de magnésio, (Média**), demonstrou diferença significativa no manejo (F-Manejo), nos genótipos (F-Genótipos). A extração de magnésio médio dos quatro genótipos nas épocas de 117; 236; 347 e 393 DAC para o manejo de sequeiro foram de: 18,6; 27,6; 27,6 e 51,3 kg ha⁻¹, enquanto que para o manejo irrigado foram de: 27,6; 36,1; 71,0 e 57,7 kg ha⁻¹.

Com os resultados da extração do magnésio na parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 19) foram calculadas funções sigmoidais para descrever as equações das curvas de Mg extraído, nos quatro genótipos e nos dois manejos (Figura 32 e Tabela 20).

Os valores obtidos do acúmulo de magnésio da parte aérea, média para os 4 genótipos e nos dois manejos, representam quatro fases de extração. Na segunda fase de extração do magnésio no qual 75 a 85% de todo Mg é acumulado, e uma fase final em que a extração é lenta, acumulando cerca de 10% do Mg da parte aérea. Resultados semelhantes encontrados por Oliveira (2011), da curva de acumulação de magnésio em cana-de-açúcar no manejo irrigado.

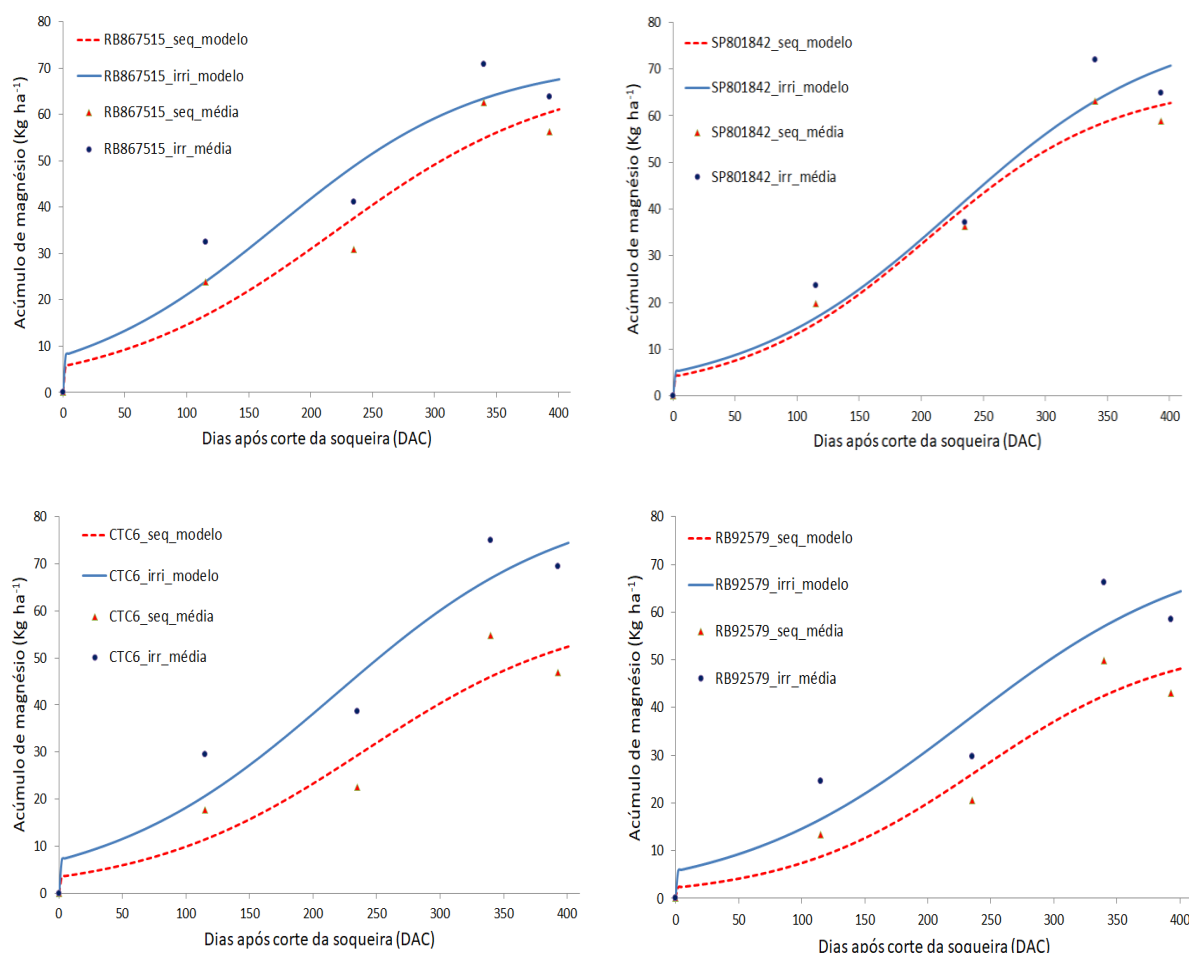
Tabela 19 - Acúmulo de magnésio da parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha⁻¹), em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Manejo	Genótipo	117	DAC	236	DAC	347	DAC	393	DAC	Média**	
-----kg ha ⁻¹ -----											
Sequeiro	RB867515	23,8	c	30,8	ab	62,5	a	56,3	a	43,4	b
Sequeiro	SP-801842	19,7	bc	36,3	b	63,2	a	58,9	a	44,5	b
Sequeiro	CTC6	17,7	ac	22,5	ab	54,7	a	46,9	a	35,4	ab
Sequeiro	RB92579	13,4	a	20,6	a	49,9	a	43,1	a	31,8	a
Irrigado	RB867515	32,6	a	41,1	a	70,9	a	63,7	a	50,1	a
Irrigado	SP-801842	23,7	a	34,7	a	72,1	a	65	a	48,9	a
Irrigado	CTC6	29,4	a	38,6	a	75	a	69,5	a	53,1	a
Irrigado	RB92579	24,7	a	29,8	a	66,3	a	58,5	a	44,8	a
Manejo (S)		18,65 A		27,58 A		27,57 A		51,30 A		38,77 A	
Manejo (I)		27,59 B		36,06 B		71,05 B		64,17 B		49,71 B	
M Geral		23,12		31,82		64,31		57,73		44,24	
F Genótipo		1,64		1,36		0,49		0,85		3,18*	
F Manejo		8,84*		3,85*		4,81*		5,91*		21,22*	
F M x G		0,39		0,73		0,23		0,53		1,45	
CV (%)		36,77		38,38		27,04		25,93		15,18	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

Na Figura 32 para os quatro genótipos e os dois manejos verifica-se que a primeira fase de desenvolvimento ocorreu de 0 aos 20 DAC, com crescimento lento e as plantas acumularam cerca de 11% do acúmulo do magnésio. A segunda fase de desenvolvimento ocorreu no período de 20 a 350 DAC, com a extração rápido do Mg, acumulando 80% da matéria seca. A terceira fase, caracterizada como fase de baixa extração, ocorreu de 350 aos 393 DAC, acumulando a parte aérea 9% do magnésio.

Figura 32 – Acúmulo de magnésio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Verifica-se na Figura 32 e na Tabela 20 que os genótipos tiveram diferenças no acúmulo de magnésio na parte aérea entre os dois ambientes de produção (irrigado e sequeiro). Na Tabela 20 subtraindo-se a assíntota horizontal ($Y_{\max}$), máxima extração de N do ambiente irrigado para o ambiente sequeiro percebe-se um gradiente de resposta dos quatro genótipos a saber: RB867515 ($2,63 \text{ Mg ha}^{-1}$); SP80-1842 ($12,7 \text{ Mg ha}^{-1}$); CTC6 ($20,63 \text{ Mg ha}^{-1}$) e RB92579 ($23,79 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Tabela 20 - Modelo sigmoidal do acúmulo de cálcio a da parte aérea da cana-de-açúcar dos diferentes tratamentos

Tratamento	Equação	R*	Significativo
RB867515_irri	$MgI = 71,95/(1+\exp(-(DAC - 172,85)/82,86))$	0,78*	p<0,05
RB867515_seq	$MgS = 69,32/(1+\exp(-(DAC - 219,36)/90,35))$	0,90*	p<0,05
SP801842_irr	$MgI = 79,9/(1+\exp(-(DAC - 227,27)/84,61))$	0,87*	p<0,05
SP801842_seq	$MgS = 67,2/(1+\exp(-(DAC - 205,22)/75,01))$	0,94*	p<0,05
CTC6_irr	$MgI = 84,36/(1+\exp(-(DAC - 217,16)/91,11))$	0,92*	p<0,05
CTC6_seq	$MgS = 60,57/(1+\exp(-(DAC - 240,12)/86,26))$	0,89*	p<0,05
RB92579_irr	$MgI = 74,68/(1+\exp(-(DAC - 231,76)/92,67))$	0,85*	p<0,05
RB92579_seq	$MgS = 54,05/(1+\exp(-(DAC - 241,02)/76,19))$	0,82*	p<0,05

* teste F 5% de probabilidade

A partir das equações logísticas do acúmulo de magnésio, calculou-se o índice fisiológico: taxa de acúmulo de magnésio, estão na Figura 33.

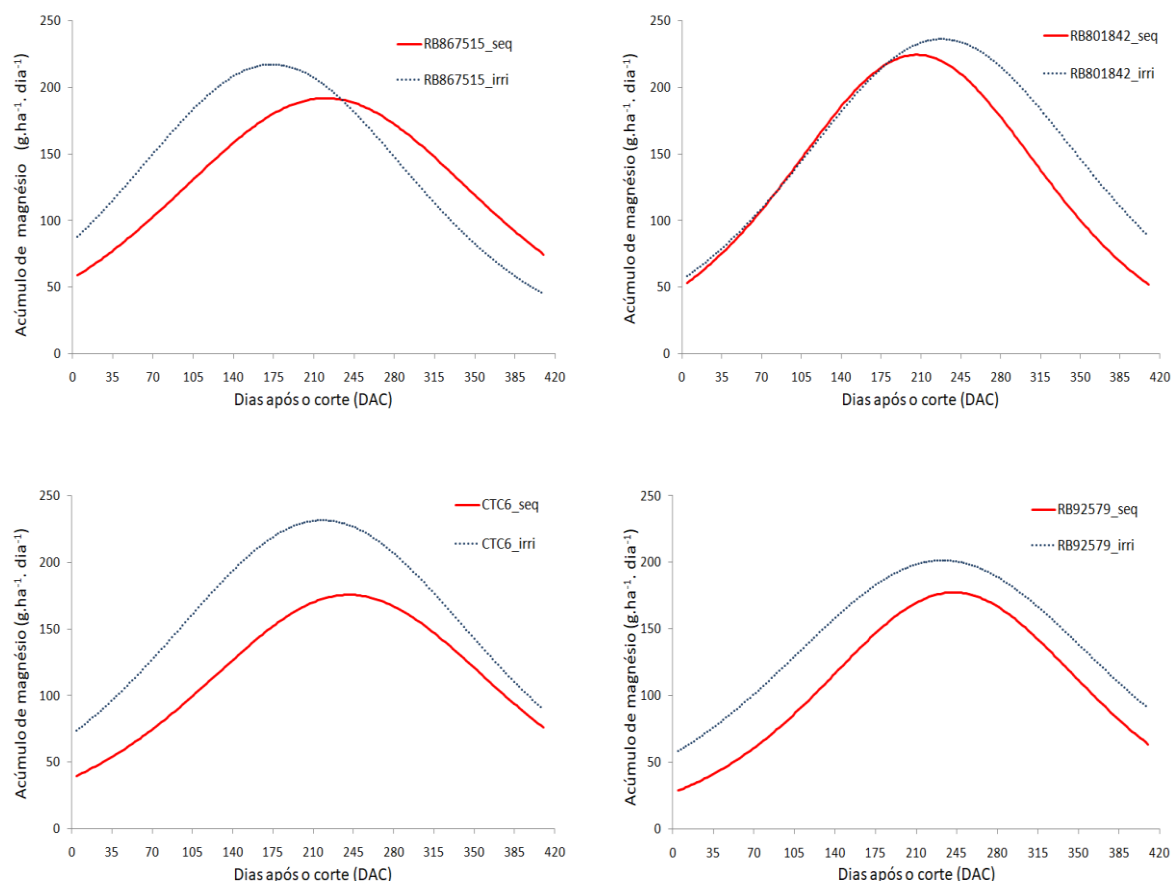
O conjunto de resultados da taxa de acúmulo de magnésio em função do tempo, apresentou uma curva com formato de sino, para os todos os tratamentos, sendo que a taxa de acúmulo de magnésio foi baixa no início do ciclo, aumentou rapidamente até atingir um valor máximo, para em seguida decrescer. Esse comportamento foi semelhante aos obtidos por Oliveira (2011).

No genótipo RB867515 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo de magnésio máxima foi de 217,1 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 146,92 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo de magnésio máxima foi de 191,8 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 137,5 g m⁻² dia⁻¹.

Para o genótipo SP80-1842 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo de magnésio máxima foi de 236,1 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 162,8 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente

de sequeiro a taxa de acúmulo de magnésio máxima foi de 224,3 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 144,6 g m⁻² dia⁻¹.

Figura 33 – Taxa de acúmulo de magnésio na parte aérea da cana-de-açúcar (g ha⁻¹ dia⁻¹), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347 e 393 DAC; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Para o genótipo CTC6 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo de magnésio máxima foi de 231,5 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 166,7 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente de sequeiro a taxa de acúmulo de magnésio máxima foi de 175,6 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 121,5 g m⁻² dia⁻¹.

Na o genótipo RB92579 no ambiente irrigado a taxa de acúmulo de magnésio máxima foi de 201,5 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 145,6 g m⁻² dia⁻¹; no ambiente

de sequeiro a taxa de acúmulo de magnésio máxima foi de 171,3 g m⁻² dia⁻¹ e a média de 113,9 g m⁻² dia⁻¹.

4.4 Produtividade e qualidade da matéria-prima

De acordo com a Tabela 21 observa-se a qualidade da matéria prima (Fibra, PCC e ATR) e a produtividade (TCH e TPH) final do experimento. Para o manejo (F-manejo) ocorreu diferença significativa para: Fibra, TCH e TPH. Na interação dos manejos com os genótipos (F-M x G) a diferença significativa foi para: TCH e TPH. Em TPH ocorreu também diferença entre os genótipos (F-Genótipos).

Tabela 21 - Qualidade da matéria-prima (Fibra; PCC e ATR); e produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH)

Manejo	Genótipo	Fibra %	PCC %	ATR kg Mg ⁻¹	TCH Mg ha ⁻¹	TPH Mg ha ⁻¹
Sequeiro	RB867515	14,97 a	14,50 a	143,57 a	97,95 a	14,22 a
Sequeiro	SP-801842	14,76 a	14,18 a	140,79 a	98,66 a	13,97 a
Sequeiro	CTC6	14,36 a	15,30 a	151,11 a	83,01 a	12,68 a
Sequeiro	RB92579	14,14 a	15,19 a	150,04 a	80,54 a	12,21 a
Irrigado	RB867515	14,19 a	13,69 a	136,32 a	112,79 b	15,35 b
Irrigado	SP-801842	14,36 a	13,55 a	138,84 a	115,65 b	15,68 b
Irrigado	CTC6	14,04 a	14,28 a	144,09 a	141,13 a	20,13 a
Irrigado	RB92579	14,43 a	14,44 a	142,84 a	136,49 a	19,69 a
Manejo (S)		14,56 A	14,79 A	146,37 A	90,04 B	13,27 B
Manejo (I)		14,25 B	13,99 A	140,52 A	126,51 A	17,71 A
M Geral		14,40	14,39	143,45	108,28	15,49
F Genótipo		1,88	1,43	1,25	2,03	4,96*
F Manejo		4,72*	3,93	2,48	336,08*	146,9*
F M x G		2,52	0,04	0,12	35,7*	22,74*
CV (%)		2,74	7,94	7,32	5,20	6,70

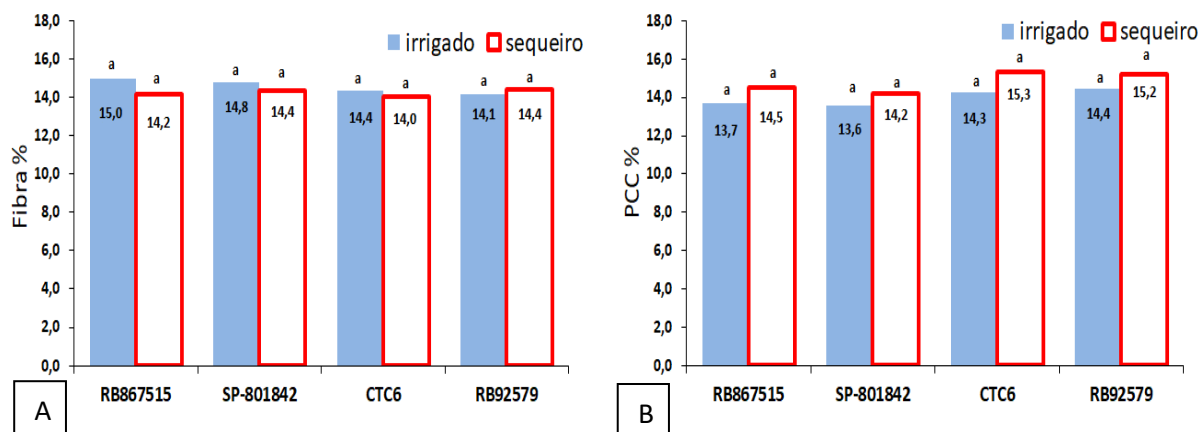
Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para genótipos no mesmo manejo, pelo teste tukey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e sequeiro), pelo teste de tukey à 5%. * significativo à 5% de probabilidade. ** valores médios de todos os períodos amostrados.

Os valores médios dos manejos dos quatro genótipos para Fibra (%) foi de: 14,6 (sequeiro) e 14,2 (irrigado); PCC (%) foi de: 14,8 (sequeiro) e 13,9 (irrigado);

ATR (Kg Mg^{-1}) foi de: 146,6 (sequeiro) e 140,5 (irrigado); TCH (Mg ha^{-1}) foi de: 90 (sequeiro) e 126,5 (irrigado); TPH (Mg ha^{-1}) foi de: 13,3 (sequeiro) e 17,7 (irrigado). Observou-se que nos manejos: irrigado e não irrigado, (F-Manejo), ocorreu diferença significativa para TCH e TPH, na área sem a deficiência hídrica ocorreu uma maior produtividade de colmo e de açúcar. Resultados parecidos ao deste trabalho foram obtidos por Gava et al. (2010) e Kölln (2012).

Mesmo com a diferença de manejo não sofreram acréscimos significativos para Fibra (%) em nenhum genótipo. Nos manejos: irrigado e de sequeiro, não ocorreu diferenças significativas no PCC, sendo este, um parâmetro tecnológico que representa o teor de açúcar no caldo, pode-se inferir que a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar não teve um decréscimo no manejo irrigado, como mostrado por Moura et al. (2005).

Figura 34 – (A) Evolução das variável Fibra (%) e (B) teor de sacarose aparente (PCC), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

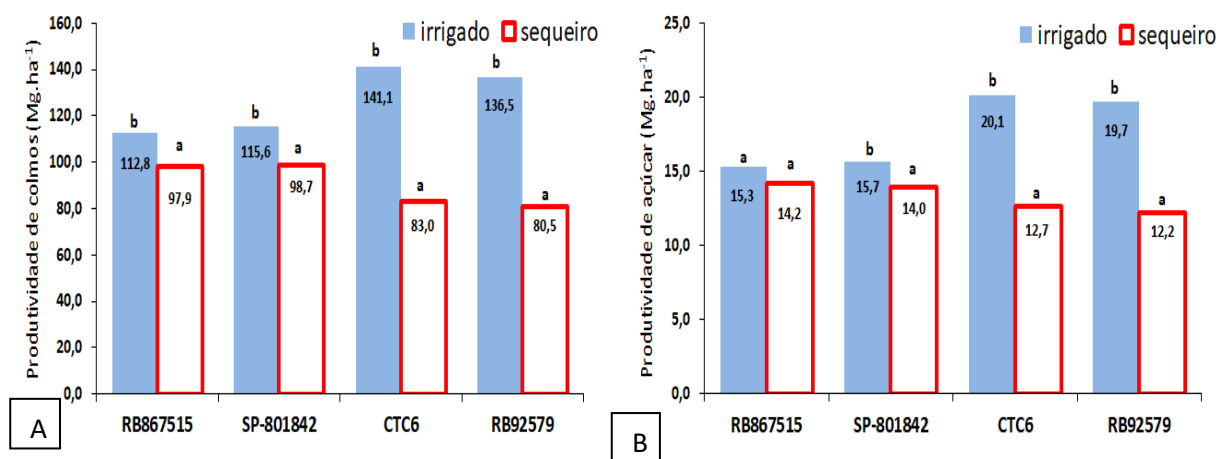
Observa-se na Figura 35, o aumento considerável da produtividade de colmos (TCH) de cana-de-açúcar no manejo irrigado comparado ao manejo sequeiro vistos também por Dellabiglia (2016) e Gava et al. (2010) sendo significativo para todos os genótipos, porém tendo uma diferença maior nos genótipos: CTC6 (48,1 Mg há^{-1} , maior no irrigado) e RB92579 (56 Mg há^{-1} , maior no irrigado).

Segundo Saliendra et al. (1996) e Inman-Bamber; Smith (2005) a eficiência do uso de água de um genótipo de cana-de-açúcar estão associados a

fatores morfológicos como: partição da matéria seca; ter de clorofila aparentes (índice SPAD) e índice de área foliar, e fisiológicos, como: capacidade de discriminação do isótopo estável ^{13}C pela enzima ribulose-1,5-bifosfato; a condutância estomática; temperatura foliar e a participação de fotoassimilados, entres outros.

O aumento da produtividade de açúcar (TPH) ocorreu devido ao maior acúmulo de matéria pela cultura, no manejo irrigado, pois os teores de sacarose de cana-de-açúcar (PCC), não tiveram diferenças significativos em razão da irrigação. Ocorrendo diferença significativa para todas os genótipos, tendo uma diferença maior nos genótipos CTC6 (7,4 Mg há⁻¹, maior no irrigado) e RB92579 (7,5 Mg há⁻¹, maior no irrigado).

Figura 35 – (A) Produtividade de colmos (TCH) e (B) produtividade de açúcar (TPH), nos manejos irrigado e sequeiro; aos 117, 236, 347, 393 DAC e na média de todos os períodos; nos quatro diferentes genótipos



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste tukey à 5%.

Dalri et al. (2008) observou, que com a implantação de tecnologia de irrigação, obtiveram acréscimo médio de 48,57% na produção de cana-de-açúcar, e de 66,1% no açúcar total recuperável (ATR), utilizando o genótipo RB72454.

Resultados de produtividade durante dois ciclos de cultivo (2007 e 2008) obtidos por Gava et al., (2011) nesta área experimental demonstraram que os genótipos SP80-3280, RB855536 e RB867515 apresentaram respostas diferenciadas na eficiência de utilização da água, e na produtividade de colmos e de açúcar nos manejos: irrigado por gotejamento e de sequeiro. Estes autores concluíram que o

genótipo SP80-3280 foi mais sensível a deficiência hídrica em comparação com os materiais: RB855536 e RB867515.

Oliveira et al. (2011) avaliou também os genótipos RB867515 e RB92579, assim como neste trabalho, observou que obtiveram maiores produtividade de colmos e de açúcar no manejo irrigado, em comparação com o sequeiro. Constatou-se também maior responsividade do genótipo RB9259 a tecnologia de irrigação ($255,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) do que em sequeiro ($90,1 \text{ Mg ha}^{-1}$), sendo esse aumento de 185%.

Constata-se neste trabalho que cada genótipo de cana-de-açúcar possuiu uma capacidade de tolerar à deficiência hídrica e ou rapidamente se regenerar deste estresse ambiental (RAMESH e MAHADEVASWAMY, 2000; SMIT e SINGELS, 2006), tendo como resultado final, potenciais de produção de matéria seca, produtividade de colmos e de açúcar diferentes, corroborando com os trabalhos desenvolvidos por vários pesquisadores (SALIENDRA et al., 1996; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; PINCELLI, 2010; GAVA et al., 2011).

5 CONCLUSÕES

Os parâmetros fisiológicos utilizados neste trabalho e o fracionamento isotópico de ^{13}C , podem ser utilizados na fenotipagem de genótipos de cana-de-açúcar mais tolerantes a deficiência hídrica e ou mais responsivos às tecnologias de irrigação.

A duração das fases e a taxa de acúmulo de matéria seca e nutrientes variaram em função da disponibilidade hídrica, entretanto não se alteraram nos diferentes genótipos estudados.

A necessidades nutricionais da cana-de-açúcar em ambientes com elevada disponibilidade hídrica (tecnologia de irrigação) foram maiores do que em ambientes de sequeiro (menor disponibilidade hídrica).

De acordo com esta pesquisa, os genótipos RB867515 e SP80-1842 foram mais tolerantes a deficiência hídrica em comparação com os genótipos CTC6 e RB92579.

Os genótipos CTC6 e RB92579 foram mais responsivos com a elevação da disponibilidade hídrica no ambiente por meio da tecnologia de irrigação por gotejamento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R. R. et al. **Condições climáticas para cana-de-açúcar**. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 42-55, 1987.
- ALVAREZ, I.A. **Comparação entre o desenvolvimento de cana crua e cana queimada em dois ciclos de crescimento**. 1998. 116p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- ANDRADE, A. G. et al. Acumulação diferencial de nutrientes em cinco cultivares de milho (*Zea mays*). Crescimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz**, Piracicaba, v. 32, p. 115-149, 1975.
- ARAÚJO, S. A. C. et al. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) em estresse hídrico. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v.32, p.1-7, 2010.
- BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, p. 1-46, 1996.
- BATCHELOR, C.H.; SOOPRAMANIEN, G.C. Water use and irrigation control of drip-irrigated sugar cane. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. Proceedings...Orlando: **American Society of Agricultural Engineers**, 1995. p.17-28.
- BEADLE, C. L. Plant growth analysis. In: COOMBS, J.; HALL, D.O.; LONG, S.P.; SCURLOCK, J. M. O. (Ed.). **Techniques in bioproductivity and photosynthesis**. 2. ed. Oxford: Pergamon Press, 1987. cap. 2, p. 20-25.
- BONNETT, G. D. Developmental stages (Phenology). In: MOORE PH, BOTHA FC (eds) **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**. 1. ed. Australia, 2014, Wiley, Ames, p. 35 –84.
- BRÜCK, H.; PAYNE, W. A.; SATTELMACHER, B. Effects of phosphorus and water supply on yield, transpirational water-use efficiency, and carbon isotope discrimination of pearl millet. **Crop Science Society of America**, v.40, p. 120-125, 2000.
- BRUNELLI, M. C. **Índice spad e trocas gasosas ao longo do dia para diferenciação de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia –Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.
- BRZESOWSKY, W.J. **Factor affecting sugarcane**. 2: Crop growth rate. *Agriculture Internacional World Crops*, v.38, n.1, p.30-35, 1986.
- BUCHMANN, N. et al. Carbon isotope composition of C4 grasses is influenced by light and water supply. **Plant Cell and Environment**. v.19, n. 4, p. 392-402, abr. 1996.
- 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 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia –Agricultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.
- CLAY D. E. et al Spatial variability of C-13 isotopic discrimination in corn (*Zea mays*). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 32, n. 11-12, p. 1813-1827, 2001a.
- CLAY D. E. et al. Nitrogen and Water Stress Interact to Influence Carbon-13 Discrimination in Wheat. **Soil Science Society of América Journal**. v.65, n. 6, p. 1823-1828, jan. 2001b.
- CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento de safra brasileira de cana-de-açúcar: Quarto levantamento safra 2016/2017 – Brasília: Conab, 2017. Disponível em:

<www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_27_16_30_01_boletim_cana_portugues_3o_ev_-16-17.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2017.

COSTA, J. M.; GRANT, O. M.; CHAVES, M. M. Thermography to explore plant–environment interactions. **Journal of experimental botany**, v. 64, n. 13, p. 3937-3949, abr. 2013.

CRAIG, H. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass- spectrometric analysis of carbon dioxide. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, New York, v. 12, n. 1-2, p. 133-149, 1957.

DALRI, A. B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos**. 2004. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia –Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

DALRI, A. B. et al. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. *Irriga*. v. 13, n. 1, p. 1-11, janeiro-março, 2008.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In.: HEINZ, D. J. (Ed.) **Sugarcane improvement though breeding**. 1987. p. 7-84.

DANTAS NETO, J. et al. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 2, p. 283-288. Jan. 2006.

DELLABIGLIA, W. J. **Disponibilidade hídrica e utilização do nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo. 2016.

DERCON, G. et al. Differential ^{13}C isotopic discrimination in maize at varying water stress and at low to high nitrogen availability. **Plant and Soil**. v.282, n. 1-2, p. 313-326, abr. 2006.

DILLEWIJN, V.C. **Botany of sugarcane**. Chronica Botanica Co. California, 1952. 371p, v. 1.

DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, mar. 1979. 193p. Irrigação e Drenagem.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306 p, ed. 2, 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, p. 212, ed. 2, 1997.

FAO – Food Agriculture Organization of the United Nations. home: **FAO**, 2013. Disponível em <<http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>>. Acesso em: 29 set. 2017.

FARIAS, C. H. A. et al. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.12, n.4, p. 356–362, 2008.

FARQUHAR, G. D. On the nature of carbon isotope discrimination in C4 species. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.10, p. 205-26, 1983.

FARQUHAR G. D.; LLOYD L. Carbon and oxygen isotope effects in the exchange of carbon dioxide between terrestrial plants and the atmosphere. In: Ehleringer JR, et al. (eds.) **Stable isotopes and plant carbon - water relationships**. Academic Press, New York, p. 47-70, 1993.

FARQUHAR G. D.; EHLERINGER J. R.; HUBICK K.T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. In: **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, California, EUA, v. 40, p. 530–537, jun. 1989.

FARQUHAR, G. D. et al. Carbon isotope fractionation and plant water-use efficiency. In: RUNDEL, P. W.; EHLERINGER, J.; NAGY, K. A. (Ed.). **Stable isotopes in ecology**. Springer- Verlag, Berlin, GER, v. 68, p. 21-40, 1988.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da cana de açúcar**. 2.ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.

FOLIGATA, F. A. Sugarcane irrigation in Tucumán. In: **Internacional Society Sugarcane Technologists**, 15, 1974, Buenos Aires. Proceedings... Buenos Aires: Heyne & Gibson, 1974. p. 665-667.

FRAVOLINIL, A.; WILLIAMS, D.G.; THOMPSON, T. L. **Carbon isotope discrimination and bundle sheath leakiness in three C₄ subtypes grown under variable nitrogen, water and atmospheric CO₂ supply**. Journal of Experimental Botany, Oxford, v. 53, n. 378, p. 2261-2269, nov. 2002.

GAVA, G. J. C. et al. Crescimento e acúmulo de N em cana-de-açúcar cultivada se molo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GAVA, G. J. C. et al. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). In: CRUSCIOL, C. A. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. 1. ed. Botucatu: FEPAF, v. 1, p. 49-66, 2010.

GAVA, G. J. C. et al. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 250-255, 2011.

GERONIMO, G. Z. **Características morfofisiológicas e agrupamento genético de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

GHANNOUM, O. C₄ Photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, Oxford, v.103, n. 4, p.635-644, fev. 2009.

GOMES, M. C. R. **Efeito da irrigação suplementar na produtividade da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes**. 1999. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. 1999.

GOMIDE, C.A.M. & GOMIDE, J.A. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 4, p 675-680, jul. 1999.

GRAÇA, J. P. et al. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Brazilian Society of Plant Physiology**, v. 22, n. 3, p. 189-197, 2010.

GUIMARÃES, A. C. R. **Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) submetidas a déficit hídrico**. 2011. 66 f. Tese (Doutorado em Ciências: Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, 2011.

HAMMER, G. L.; FARQUHAR, G. D.; & BROAD, I. J. On the extent of genetic variation for transpiration efficiency in sorghum. **Australian journal of plant physiology**, v. 48, p. 649-655, 1997.

HENDERSON, S. A.; CAEMMERER, S. V.; FARQUHAR, G. D. Short- term measurements of carbon isotope discrimination in several C₄ species. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 19, p. 263-285, 1992.

HOWELL, T. A.; EVETT S. R. **The Penman-Monteith method**. Washington, DC: USDA-Agricultural Research Service, Conservation & Production Research Laboratory, 2004. 14 p.

HUBICK, K. T. et al. Carbon isotope discrimination varies genetically in C₄ species. **Journal of Plant Physiology**, Jena, GER, v. 91, n. 2, p. 534-537, fev. 1990.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005.

JANGPROMMA, N. et al. Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD chlorophyll meter across different water stress conditions. **Asian Journal of Plant Sciences** v. 9, n. 6, p. 368-374, 2010.

JONES, H.G. Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology. **Advances in Botanical Research**, v.41, p.107-163, 2004.

KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ¹³C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2012.

KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, p. 489, 1983.

LUCCHESI, A. A. **Utilização prática da análise de crescimento vegetal**: Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, v.41, p.181-201, 1984.

LUQUET, D. et al. Using multidirectional thermography to characterize water status of cotton. **Remote Sensing of Environment**, n. 84, n. 3, p. 411-421, 2003.

MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.) **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, cap.1, p.56-87, 1987.

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

MACHADO, R. S. et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU/Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. v. 1, p. 331-350.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós. 1997, 319p.

MARIN, F. R. **Fenologia**. Agência de Informação EMBRAPA, 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_42_1110200717570.html>. Acesso em: 18 maio 2017.

MARQUES, D. **Guia da cana-de-açúcar/Avanço científico beneficia o país**. Conselho de Informações sobre Biotecnologia. 2009. Disponível em: <http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/guia_cana.pdf> Acesso em: 06 jun. 2017.

MAULE, R. F.; Mazza, A. J.; Marthar Júnior, G. B. **Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 58, n. 2, p.295-301, abr./jun. 2001.

MEINZER, F. C.; ZHU, J. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C₄CO₂ concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 324, p. 1227-1234, 1998.

MEINZER, F. C.; PLAUT, Z.; SALIENDRA, N. Z. Carbon isotope discrimination, gas exchange, and growth of sugarcane cultivars under salinity. **Plant Physiology**. v. 104, n. 2, p. 521-526, 1994.

MONNEVEUX P. et al. Using carbon isotope discrimination to select maize (*Zea mays* L.) inbred lines and hybrids for drought tolerance. **Plant Science**, v. 173, n. 4, p. 390-396, 2007.

MOURA, M. V. P. F. et al. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 753-760, 2005.

MME. RENOVABIO. Disponível: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>> Acesso em: 12 dez. 2017.

NILSEN, E. T.; ORCUTT, D. M. **The physiology of plants under stress**: soil and biotic factors. New York: John Wiley & Sons, 1996. 689 p.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada**. 2011. 213 f. Tese (Doutorado Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Determining a critical nitrogen dilution curve for sugarcane. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 5, p. 712-723, 2013.

OLIVEIRA, R. A. et al. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n.1, p. 71-76, 2007.

OLIVEIRA, R. A. et al. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.6, p.617-625, jun. 2011

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

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.O.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade em solos do estado de São Paulo. **Boletim Técnico PLANALSUGAR**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p.3-128, 1980.

PANSACK, W. et al. ^{13}C isotopic discrimination: a starting point for new insights in competition for nitrogen and water under contour hedgerow systems in tropical mountainous regions. **Plant and soil**. v. 298, n. 1-2, p.175-189, 2007.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; VARGAS, L. Manejo e controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Orgs.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 397-452.

RAIJ, B. van; et al. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 185, n. 2, p. 83-89, 2000.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phasedrought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 4, p. 249-258, dez. 2000.

RAMESH, P.; Kailasam, C.; Srinivasan, T. R. Performance of sugarcane (*Saccharum officinarum* L) under surface drip, sub surface drip (biwall) and furrow methods of irrigation. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.172, n. 4, p. 237-241, 1994.

RHEIN, A. F. de L. **Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento**. 2013. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

RIDESA - Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba: Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, 2010, 80 p.

SALIENDRA N. Z. et al. Associations between partitioning of carboxylase activity and bundle sheath leakiness to CO₂, carbon isotope discrimination, photosynthesis, and growth in sugarcane. **Journal of Experimental botany**, v. 47 p. 907-914, jul. 1996.

SANTOS, C. M. **Mecanismos fisiológicos e bioquímicos da cana-de-açúcar sob estresses induzidos por deficiência hídrica e paraquat**. 2013. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo**. 2007. 61 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SCARPARE F. V. et al.; Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 4576-4584, 2016.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, cap. 2, p. 19-36, 2006.

SILVA, P. P. et al. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. **Industrial Crops and Products**, v. 37, p. 11-19, 2012.

SILVA, M. A. et al. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. **The Journal of Agricultural Science, Cambridge**, n. 15, v. 1, p. 1-15, 2014.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.3, p.193-201, 2007.

SINGH, P. N.; SHUKLA, S. K.; BHATNAGAR, V. K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum spp.* Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, v. 90, p. 95-100, 2007.

SMELTEKOP, H.; CLAY, D. E.; CLAY, S. A. The impact of intercropping annual ‘Sava’ snail medic on corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 917- 924, 2002.

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

SOUZA, E. F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J. A. **Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-32, 1999.

STEDUTO, P. et al. **Crop yield response to water**. Irrigation and Drainage Paper, n. 66, Rome: FAO, 2012, 503 p.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

THORBURN, P. J. et al. The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 22, n. 3-4, p. 201–209, 2003.

WIEDENFELD, R. P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 43, p. 101-108, 1995.

WILLIAMS D. G. et al. Carbon isotope discrimination by sorghum bicolor under CO₂ enrichment and drought. **New Phytologist**. v. 150, p. 285-293, 2001.

WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. 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.

ZHU, J. K. Cell signaling under salt, water and cold stresses. **Current Opinion in Plant Biology**, Arizona, v. 4, p. 401-406, 2001.

ZULLO JUNIOR, J.; ARRUDA, F. B. **Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1987.